

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月 8日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-198432

[ST.10/C]:

[JP2002-198432]

出 願 人

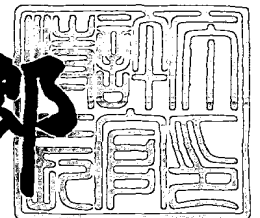
Applicant(s):

NECエレクトロニクス株式会社

2003年 5月13日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3034314

【書類名】 特許願

【整理番号】 74112653

【提出日】 平成14年 7月 8日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/66

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

 【氏名】 國嶋 浩之

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

 【氏名】 竹脇 利至

【特許出願人】

 【識別番号】 000004237

 【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100110928

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 速水 進治

 【電話番号】 03-3461-3687

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 138392

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 0110433

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板上に絶縁膜を形成する工程と、
前記絶縁膜に凹部を形成する工程と、
前記凹部の一部を埋め込むように、第一の金属膜を形成する工程と、
前記第一の金属膜上に、前記凹部の他の部分を埋め込むように第二の金属膜を形成する工程と、
前記第一の金属膜および前記第二の金属膜を熱処理する工程と、
を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 2】 前記第二の金属膜は、前記第一の金属膜を主として構成する金属および当該金属とは異なる異種元素を少なくとも一種含むことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3】 前記凹部の外部に形成された前記第一の金属膜および前記第二の金属膜を除去する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 4】 前記熱処理する工程により、前記第一の金属膜および前記第二の金属膜の表面における面方位を略均一に形成することを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 5】 前記熱処理する工程により、前記第一の金属膜および前記第二の金属膜の平均グレインサイズを $1\ \mu\text{m}$ 以上に形成することを特徴とする請求項 1 乃至 4 いずれかに半導体装置の製造方法。

【請求項 6】 前記熱処理する工程により、前記第一の金属膜および前記第二の金属膜の表面における面方位を (200) に形成することを特徴とする請求項 1 乃至 5 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 7】 半導体基板上に、第一の金属膜を形成する工程と、
前記第一の金属膜を覆うように、前記第一の金属膜を主として構成する金属および当該金属とは異なる異種元素を含む第二の金属膜を形成する工程と、
前記第一の金属膜および前記第二の金属膜を熱処理して表面における面方位が

略均一な異種元素拡散金属膜を形成する工程と、

を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 8】 半導体基板上に、第一の金属膜を形成する工程と、

前記第一の金属膜を覆うように、前記第一の金属膜を主として構成する金属および当該金属とは異なる異種元素を含む第二の金属膜を形成する工程と、

前記第一の金属膜および前記第二の金属膜を熱処理して平均グレインサイズが $1\ \mu\text{m}$ 以上の異種元素拡散金属膜を形成する工程と、

を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 9】 前記異種元素拡散金属膜を形成する工程により、前記異種元素拡散金属膜の表面における面方位を (200) に形成することを特徴とする請求項 1 乃至 8 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】 半導体基板上に絶縁膜を形成する工程と、

前記絶縁膜に第一の配線溝および前記第一の配線溝よりも幅の狭い第二の配線溝を形成する工程と、

前記第一の配線溝の内部の一部および前記第二の配線溝の内部全体を埋め込むように、第一の金属膜を形成する工程と、

前記第一の配線溝の内部の他の部分を埋め込むとともに、前記第一の金属膜を覆うように第二の金属膜を形成する工程と、

を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 11】 前記第一の金属膜および前記第二の金属膜を熱処理する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 10 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 12】 前記第二の金属膜は、前記第一の金属膜を主として構成する金属とは異なる異種元素を含むことを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 13】 前記第二の金属膜を形成する工程において、前記第二の金属膜の平坦部における膜厚を前記第一の金属膜の平坦部における膜厚よりも厚く形成することを特徴とする請求項 1 乃至 12 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 14】 前記第一の金属膜を形成する工程において、前記第一の

金属膜をめっき法を用いて形成することを特徴とする請求項 1 乃至 1 3 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 5】 前記第一の金属膜を形成する工程は、

前記半導体基板上にスパッタリング法により前記第一の金属膜を主として構成する金属および前記異種元素を含むシード金属膜を形成する工程と、

前記シード金属膜を覆うように、めっき法により前記第一の金属膜を主として構成する金属を含むめっき金属膜を形成する工程と、

を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 6】 前記第二の金属膜を形成する工程において、スパッタリング法により前記第二の金属膜を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 7】 前記第二の金属膜を形成する工程において、前記半導体基板にバイアスを印加するバイアススパッタリング法により前記第二の金属膜を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 8】 前記第一の金属膜は、銅を主として含むことを特徴とする請求項 1 乃至 1 7 いずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 9】 半導体基板と、

該半導体基板上部に形成され、銅および銅とは異なる異種元素を含み、表面における面方位が略均一の異種元素拡散金属膜と、

を含むことを特徴とする半導体装置。

【請求項 2 0】 半導体基板と、

該半導体基板上部に形成され、銅および銅とは異なる異種元素を含み、平均グレインサイズが $1\ \mu\text{m}$ 以上の異種元素拡散金属膜と、

を含むことを特徴とする半導体装置。

【請求項 2 1】 前記異種元素拡散金属膜の結晶の平均グレインサイズが前記異種元素拡散金属膜の平均膜厚より大きいことを特徴とする請求項 1 9 または 2 0 に記載の半導体装置。

【請求項 2 2】 前記異種元素拡散金属膜の表面における面方位が（2 0 0）であることを特徴とする請求項 1 9 乃至 2 1 いずれかに記載の半導体装置。

【請求項 2 3】 前記異種元素拡散金属膜は、配線、プラグまたはパッドを構成することを特徴とする請求項 1 9 乃至 2 2 いずれかに記載の半導体装置。

【請求項 2 4】 前記異種元素拡散金属膜は、めっき法を用いて形成されたことを特徴とする請求項 1 9 乃至 2 3 いずれかに記載の半導体装置。

【請求項 2 5】 半導体基板と、
該半導体基板上に形成された第一の配線と、
前記第一の配線と同一の配線層に設けられ、前記第一の配線を主として構成する金属により構成された形成された第二の配線と、
を含み、
前記第二の配線は前記第二の配線よりも幅が狭く形成され、前記第一の配線および前記第二の配線の表面における面方位が異なることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2 6】 前記第二の配線の幅は前記第一の配線の幅よりも狭く形成され、前記第一の配線の表面における面方位が（2 0 0）であって、前記第二の配線の表面における面方位が（1 1 1）であることを特徴とする請求項 2 5 に記載の半導体装置。

【請求項 2 7】 半導体基板と、
該半導体基板上に形成された第一の配線と、
前記第一の配線と同一の配線層に設けられ、前記第一の配線を主として構成する金属により構成された第二の配線と、
を含み、
前記第二の配線は前記第一の配線よりも幅が狭く形成され、前記第一の配線は、前記第一の配線全体に分散された前記主として構成する金属とは異なる異種元素を含み、前記第二の配線は、前記第二の配線の上部表面に形成された前記異種元素を含むことを特徴とする半導体装置。

【請求項 2 8】 めっき金属膜により構成された金属配線であって、複数の異種元素を含み、

前記めっき金属膜に含まれるグレインの平均サイズが1 μ m以上であることを特徴とする金属配線。

【請求項29】 めっき金属膜により構成された金属配線であって、複数の異種元素を含み、

前記めっき金属膜が単一のグレインにより構成されたことを特徴とする金属配線。

【請求項30】 前記金属配線の幅が1 μ m以上であることを特徴とする請求項28または請求項29に記載の金属配線。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年における半導体装置の高集積化への要請から、配線、プラグ、パッド等の材料として銅が広く用いられるようになってきた。銅は、従来用いられていたアルミニウムに比べて抵抗が低く、エレクトロマイグレーション耐性にも優れるという特徴を有している。

【0003】

しかし、素子の微細化がさらに進行するにつれ、こうした銅を用いた配線においてもエレクトロマイグレーション（以下「EM」という）の発生が問題となるようになってきた。銅配線を構成する銅膜は、通常めっき法などにより形成されるが、この場合、銅膜は多数の多結晶構造の銅粒子が集合した形態となる。こうした構造の銅配線に電圧を印加すると、銅粒子の粒界を經由して物質移動が起こり、結果としてEMが発生する。配線幅の小さい配線においては、銅粒子のサイズも小さくなることから、このような粒界を介した物質移動によるEMの問題はより顕著となる。こうしたEMの問題を解決するため、銅配線に他の金属を含有させる検討がいくつかなされている。

【0004】

たとえば、特開平 1 1 - 2 0 4 5 2 4 号公報には、銀、ニオブまたは Al_2O_3 を含有する銅合金によりなる配線が記載されている。ここでは、配線用溝の底部にスパッタ法により銀を含む銅合金膜を堆積し、その上に CVD 法またはめっき法により銅膜を堆積した後、熱処理することにより、銅合金膜中の銀を銅膜に拡散させて銅合金膜を形成する例が示されている。また、CVD 法またはめっき法により銅膜を堆積した後に、銅膜の上に電解めっき法により銀膜を堆積した後、熱処理することにより銀膜の銀を銅膜に拡散させる例が記載されている。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の方法では、銀等の異種金属を配線全体に拡散させるのは困難であった。配線全体に異種金属を拡散させるためには、熱処理の温度を高くしたり熱処理時間を長くする必要がある、このような熱処理過程において半導体装置が損なわれることがあり、半導体装置を安定的に製造するのが困難であった。また、配線用溝の底部にスパッタ法により銅合金膜を堆積する方法では、微細な配線構造を形成する場合に、銅合金膜の厚さを厚くすることができず、配線全体における異種金属の全体量を多くすることができなかった。また、めっき法により異種金属を堆積させる方法では、析出電位の差により、めっき時に異種金属または銅のいずれかが溶出してしまうため、均一な銅合金膜を形成するのが困難であった。

【 0 0 0 6 】

さらに、最近、銅配線のストレスマイグレーションの発生が問題となりつつある。図 1 は、ダマシン法により形成した銅多層配線の断面模式図である。下層配線 1 2 1 a の上部に上層配線 1 2 1 b が接続した構成となっており、上層配線 1 2 1 b は、接続プラグとその上部に形成された配線からなっている。このような銅多層配線において、銅のストレスマイグレーションにより、下層配線 1 2 1 a と上層配線 1 2 1 b の接続プラグとの界面において、空洞 1 2 2 が発生してしまうことがあり、配線間の接続不良が引き起こされて半導体装置の歩留が低下したり、長期間の使用により半導体装置が不安定になるという課題が生じる。

【 0 0 0 7 】

図 1 (a) では、上層配線 1 2 1 b 側に空洞 1 2 2 が発生している。すなわち、上層配線 1 2 1 b を構成する接続プラグの部分に空洞が生じている。一方、図 1 (b) では、下層配線 1 2 1 a の上面に空洞 1 2 2 が発生している。このような空洞 1 2 2 は、半導体プロセス中の熱履歴等により銅配線中に内部応力が生じることが原因と考えられる。図 1 (a) では、上層配線 1 2 1 b 中に、銅の「吸い上げ」が起こり、接続プラグ中で銅が上方にマイグレートすることにより空洞 1 2 2 が発生するものと考えられる。図 1 (b) では、下層配線 1 2 1 a 中で水平方向に銅がマイグレートし、この結果、空洞 1 2 2 が発生するものと考えられる。

【 0 0 0 8 】

本発明者らの検討によれば、このような空洞化現象は、半導体装置の実用化温度（たとえばボンディング工程、フォトレジストのベーキング工程等）である約 1 5 0 ℃ 前後で顕著に生じることが判明した。このような空洞が生じるために、接続プラグと配線との接続不良が生じ、半導体装置の歩留が低下したり、長期間の使用により半導体装置が不安定になるという課題が生じると考えられる。このような空洞化現象を低減するためには、配線と接続プラグとの界面、すなわち配線の表面におけるストレスマイグレーション耐性を高めることが重要と考えられるが、配線用溝の底部に異種金属を堆積させる上述した従来の方法では、配線表面まで異種金属が拡散されず、ストレスマイグレーション耐性を効果的に向上することができなかった。

【 0 0 0 9 】

上述したような EM およびストレスマイグレーションの発生を抑制するためには、プロセス上の検討とあわせ、配線等金属領域を構成する材料そのものについての検討が必要となる。

【 0 0 1 0 】

上記事情に鑑み、本発明は、金属領域を備えた半導体装置において、EM およびストレスマイグレーション耐性を高め、信頼性を向上させることを目的とする。さらに本発明は、こうした半導体装置を安定的に製造できるプロセスを提供することを目的とする。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、半導体基板上に絶縁膜を形成する工程と、絶縁膜に凹部を形成する工程と、凹部の一部を埋め込むように、第一の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜上に、凹部の他の部分を埋め込むように第二の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜および第二の金属膜を熱処理する工程と、を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【 0 0 1 2 】

凹部の一部を第一の金属膜で埋め込み、その他の部分を第二の金属膜で埋め込んだ後に熱処理を行うことにより、凹部内部において、第二の金属膜を構成する金属を第一の金属膜中に拡散することができる。また、このような熱処理を行うことにより、第一の金属膜および第二の金属膜の粒子径を大きくすることができ、これらの金属膜の抵抗を低減することができ、かつ、ストレスマイグレーション耐性を向上することができる。なお、本発明において、第一の金属膜がめっき用のシード膜で、第二の金属膜がめっき膜である組み合わせは除かれる。

【 0 0 1 3 】

第一の金属膜および第二の金属膜は銅を含むことができる。特に、第一の金属膜は、銅を主として含む銅含有金属により構成することができる。ここで、銅含有金属とは、たとえば銅の含有量が30%以上の金属とすることができる。また、銅含有金属は、金、銀、白金等を含むことができる。銅含有金属は、クロム、モリブデン等を含んだものであってもよい。

【 0 0 1 4 】

第二の金属膜は、第一の金属膜を主として構成する金属および当該金属とは異なる異種元素を少なくとも一種含むことができる。

【 0 0 1 5 】

第二の金属膜は、第一の金属膜を主として構成する金属および異種元素の合金により構成することができる。第一の金属膜を主として構成する金属が銅の場合、異種元素は、A g、W、M g、B e、Z n、P d、C d、A u、H g、P t、S i、Z r、T i、または、S nから選択される一又は二以上の元素を含むこと

ができる。第一の金属膜および第二の金属膜を形成後に熱処理を行うことにより、凹部内部において、第二の金属膜に含まれる異種元素を第一の金属膜中に均一に拡散することができる。これにより、第一の金属膜および第二の金属膜が合金により構成されることになるので、これらの金属膜の強度を高めることができる。

【 0 0 1 6 】

また、凹部の他の部分が第二の金属膜で埋め込まれているので、熱処理の温度を低くしたり、熱処理時間を短くしても、第一の金属膜中に異種元素を均一に拡散することができる。そのため、そのため、たとえば層間絶縁膜等として、耐熱性の低い材料を用いた場合であっても、半導体装置を安定的に製造することができる。このような層間絶縁膜としては、たとえば、HSQ（ヒドロジェンシルセスキオキサン）、MSQ（メチルシルセスキオキサン）、またはMHSQ（メチル化ヒドロジェンシルセスキオキサン）等のポリオルガノシロキサン、ポリアリールエーテル（PAE）、ジビニルシロキサンービスーベンゾシクロブテン（BCB）、またはSilk（登録商標）等の芳香族含有有機材料、SOG（spin on glass）、FOX（flowable oxide）、パリレン、サイトップ、またはBCB（Bensocyclobutene）等の低誘電率材料を用いることができる。特に、層間絶縁膜としてHSQを用いた場合、HSQの熱膨張係数は銅の熱膨張係数とほぼ同じなので、この観点からも、接続プラグおよび配線のストレスマイグレーションを軽減することができる。

【 0 0 1 7 】

なお、本明細書における「合金」とは、2種以上の金属元素を融解・凝固させたものを意味し、金属元素のほかに非金属または半金属元素を含むものも合金とよぶものとする。また、合金の組織状態としては成分元素の混ざり方から固溶体や金属間化合物をつくる場合とそれらの混合物をなす場合がある。すなわち、本明細書では、固溶限以上の成分を添加したのも「合金」と称するものとする（化学大事典、東京化学同人発行）。

【 0 0 1 8 】

異種元素としてBe、Mg、Zn、Pd、Ag、Cd、Au、PtまたはHg

を用いた場合、銅含有金属膜の抵抗上昇率を抑えることができる。異種元素としてZrまたはTiを用いた場合、たとえば絶縁膜やバリアメタル膜等と金属膜との密着性を向上することができる。異種元素としてMg、Sn、Zn、Cd等、銅よりも酸化還元電位の低い金属を用いた場合、金属膜表面の腐食を阻止することができる。

【 0 0 1 9 】

第二の金属膜における異種元素の含有率の上限は特にないが、後に説明するように、熱処理により、第一の金属膜および第二の金属膜の表面における面方位を略均一にしたり、グレインサイズを大きくしたりするためには、第二の金属膜を構成する金属全体に対する含有率が、5 a t o m i c %以下であるのが好ましい。

【 0 0 2 0 】

ここで、第一の金属膜は、めっき法またはプラズマCVD法等により形成することができる。熱処理は、アルゴンまたは窒素などの不活性ガス雰囲気中で行うことができる。

【 0 0 2 1 】

この方法は、凹部の外部に形成された第一の金属膜および第二の金属膜を除去する工程をさらに含むことができる。

【 0 0 2 2 】

この方法において、凹部は配線溝であって、第一の金属膜および第二の金属膜は配線を構成することができる。

【 0 0 2 3 】

熱処理する工程において、第一の金属膜および第二の金属膜の表面における面方位を略均一に形成することができる。

【 0 0 2 4 】

熱処理する工程において、第一の金属膜および第二の金属膜の平均グレインサイズを1 μ m以上に形成することができる。

【 0 0 2 5 】

熱処理する工程において、第一の金属膜および第二の金属膜の表面における面

方位を（200）に形成することができる。

【0026】

本発明によれば、半導体基板上に、第一の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜を覆うように、第一の金属膜を主として構成する金属および当該金属とは異なる異種元素を含む第二の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜および第二の金属膜を熱処理して第一の金属膜および第二の金属膜により構成され、表面における面方位が略均一な異種元素拡散金属膜を形成する工程と、を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【0027】

面方位が略均一とは、X線解析法により、少なくとも90%以上のものが同じ面方位であることをいう。金属膜表面における面方位が相違すると、空洞化の原因となる。たとえば、第一の金属膜をめっき法により形成した場合、（111）や（511）等、グレインごとに表面の面方位が相違し、第一の金属膜表面に様々な面が露出しやすく、空洞化が生じやすくなる。本発明の方法によれば、異種元素拡散金属膜の表面における面方位を略均一にすることができ、空洞化を低減することができるので、異種元素拡散金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【0028】

本発明によれば、半導体基板上に、第一の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜を覆うように、第一の金属膜を主として構成する金属および当該金属とは異なる異種元素を含む第二の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜および第二の金属膜を熱処理して第一の金属膜および第二の金属膜により構成され、平均グレインサイズが1 μ m以上の異種元素拡散金属膜を形成する工程と、を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【0029】

異種元素拡散金属膜の平均グレインサイズを1 μ m以上にすることにより、異種元素拡散金属膜表面のグレインのバウンダリーの数低減することができる。ここで、グレインサイズとは、各グレインの長軸と短軸の平均値から求められ、平均グレインサイズとは、各グレインサイズの数平均のことである。これにより

、異種元素拡散金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 3 0 】

異種元素拡散金属膜を形成する工程において、異種元素拡散金属膜の表面における面方位を（200）に形成することができる。ここで、面方位が（200）とは、異種元素拡散金属膜の表面における面方位が（200）のものが主成分であることをいう。異種元素拡散金属膜の表面における面方位を熱的に安定な（200）配向にすることにより、異種元素拡散金属膜の面方位を揃えることができる、空洞化を低減することができる。これにより、異種元素拡散金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 3 1 】

本発明によれば、半導体基板上に絶縁膜を形成する工程と、絶縁膜に第一の配線溝および第一の配線溝よりも幅の狭い第二の配線溝を形成する工程と、第一の配線溝の内部の一部および第二の配線溝の内部全体を埋め込むように、第一の金属膜を形成する工程と、第一の配線溝の内部の他の部分を埋め込むとともに、第一の金属膜を覆うように第二の金属膜を形成する工程と、を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。この方法は、第一の金属膜および第二の金属膜を熱処理する工程をさらに含むことができる。ここで、半導体装置の製造方法は、複数の第一の配線溝および複数の第二の配線溝を形成する工程を含むことができるが、第一の金属膜を形成する工程において、各第一の配線溝の内部の一部が第一の金属膜により埋め込まれ、各第二の配線溝の内部全体が第一の金属膜により埋め込まれる。また、第二の金属膜を形成する工程において、各第一の配線溝の内部の他の部分が第二の金属膜により埋め込まれる。

【 0 0 3 2 】

この方法によれば、配線溝の幅の広い第一の配線溝において、第二の金属膜を構成する金属を第一の金属膜中に拡散させた構成の配線と、配線溝の幅の狭い第二の配線溝において、第二の金属膜を構成する金属を第一の金属膜の上面一部のみ拡散させた構成の配線とを同時に形成することができる。

【 0 0 3 3 】

第二の金属膜は、第一の金属膜を主として構成する金属とは異なる異種元素を含むことができる。この方法によれば、第一の配線溝において、異種元素を全体に拡散させた構成の配線と、第二の配線溝において、異種元素を上部のみに拡散させた構成の配線とを同時に形成することができる。これにより、低抵抗化が望まれる細幅配線の抵抗を低く抑えつつ、ストレスマイグレーションが生じやすい太幅配線のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 3 4 】

第一の金属膜を形成する工程において、第一の金属膜をめっき法を用いて形成することができる。第一の金属膜を形成する工程は、スパッタリング法によりシード金属膜を形成する工程と、シード金属膜を覆うように、めっき法によりめっき金属膜を形成する工程とを含むことができる。この場合、シード金属膜およびめっき金属膜により、第一の金属膜が構成される。この方法は、めっき法を用いて形成された第一の金属膜をアニールする工程を含むことができる。これにより、めっき金属膜中のグレインが成長し、めっき金属膜を低抵抗化することができる。

【 0 0 3 5 】

第一の金属膜を形成する工程は、半導体基板上にスパッタリング法により第一の金属膜を主として構成する金属および異種元素を含むシード金属膜を形成する工程と、シード金属膜を覆うように、めっき法により第一の金属膜を主として構成する金属を含むめっき金属膜を形成する工程と、を含むことができる。

【 0 0 3 6 】

この方法によれば、シード金属膜に含まれる異種元素をめっき金属膜中に拡散することができる。第二の金属膜にも異種元素が含まれる場合、めっき金属膜には上下から異種元素が拡散するので、熱処理の温度を低くしたり、熱処理時間を短くしても、第一の金属膜中に異種元素を均一に拡散することができる。そのため、たとえば層間絶縁膜等として、耐熱性の低い材料を用いた場合であっても、半導体装置を安定的に製造することができる。

【 0 0 3 7 】

第二の金属膜を形成する工程において、スパッタリング法により第二の金属膜

を形成することができる。スパッタリング法を用いることにより、第二の金属膜を種々の元素により構成することができる。また、第二の金属膜を構成する元素の濃度を適宜制御することもできる。さらに、第二の金属膜が異種元素を含む場合、スパッタリング法により第二の金属膜を形成することにより、第一の金属膜を構成する金属との析出電位の差により金属が溶出するという問題が生じることもなく、後の熱処理により、第一の金属膜中に異種元素を均一に拡散することができる。

【 0 0 3 8 】

第二の金属膜を形成する工程において、半導体基板にバイアスを印加するバイアススパッタリング法により第二の金属膜を形成することができる。

【 0 0 3 9 】

バイアススパッタリング法は、半導体基板に R F（高周波）バイアスまたは D C（直流）バイアスを印加することにより行うことができる。このとき、半導体基板に印加するイオン照射エネルギー（プラズマポテンシャル＋自己バイアス）は、高バイアス、たとえば 8 0 e V 以上、好ましくは 2 0 0 e V 以上とすることができる。第二の金属膜をこのようなバイアススパッタリング法で形成することにより、その後の熱処理により、第一の金属膜および第二の金属膜の面方位を略均一にすることができるとともに、これらの金属膜の平均グレインサイズを 1 μ m 以上にすることができる。

【 0 0 4 0 】

第二の金属膜を形成する工程において、第二の金属膜の平坦部における膜厚を第一の金属膜の平坦部における膜厚よりも厚く形成することができる。第二の金属膜は、熱処理後に第一の金属膜とともに、配線、プラグ、またはパッドを構成することもできるが、第一の金属膜中に異種元素を拡散させる役割をも果たす。また、上述したように、第二の金属膜を、バイアススパッタリング法を用いて、第二の金属膜の平坦部における膜厚が第一の金属膜のものよりも厚くなるように形成することにより、熱処理時に第二の金属膜および第一の金属膜の表面における面方位を略均一にして異種元素拡散金属膜を形成することができる。そのため、第二の金属膜を形成する工程において、第二の金属膜を最終的に必要な膜厚以

上の厚さに形成し、異種元素拡散金属膜を形成した後に、不要な部分の異種元素拡散金属膜を除去することができる。

【 0 0 4 1 】

本発明によれば、半導体基板上に、第一の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜を覆うように、第一の金属膜を主として構成する金属および当該金属とは異なる異種元素を含む第二の金属膜を形成する工程と、第一の金属膜および第二の金属膜を熱処理して第一の金属膜および第二の金属膜により構成される異種元素拡散金属膜を形成する工程と、異種元素拡散金属膜の上部の一部を除去する工程と、を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【 0 0 4 2 】

第二の金属膜は、第一の金属膜を主として構成する金属および異種元素の合金により構成することができる。第一の金属膜および第二の金属膜を形成後に熱処理を行うことにより、第二の金属膜に含まれる異種元素を第一の金属膜中に均一に拡散することができ、異種元素拡散金属膜を合金により構成することができる。これにより、異種元素拡散金属膜の強度を高めることができる。

【 0 0 4 3 】

この方法において、除去する工程は、第二の金属膜を形成する工程において形成された第二の金属膜の平坦部における膜厚よりも厚く異種元素拡散金属膜を除去することができる。

【 0 0 4 4 】

第一の金属膜は、銅を主として含むことができる。異種元素拡散金属膜は、配線、プラグまたはパッドを構成することができる。図 1 (b) に示したような空洞 1 2 2 は、下層配線 1 2 1 a のグレインのバウンダリー近傍に接続プラグが形成された場合に生じやすく、たとえば接続プラグがバウンダリーではない部分に形成された場合、その周辺には生じにくい。また、接続プラグがバウンダリー近傍に形成された場合であっても、空洞は必ずしも接続プラグ直下ではなく、バウンダリー部分に発生する。特に、複数のグレインのバウンダリーが複数重なる部分で空洞が生じやすいことが判明している。したがって、本発明の方法を配線に適用することにより、図 1 (b) に示したような空洞の発生を抑えることができ

、ストレスマイグレーション耐性を向上することができる。また、接続プラグやパッドに関しても、表面にグレインのバウンダリーが多数存在すると、ストレスマイグレーションを受けやすくなる。したがって、本発明の方法を接続プラグやパッドに適用すれば、ストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 4 5 】

本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上部に形成され、銅および銅とは異なる異種元素を含み、表面における面方位が略均一の異種元素拡散金属膜と、を含むことを特徴とする半導体装置が提供される。

【 0 0 4 6 】

この半導体装置によれば、異種元素拡散金属膜の表面における面方位を略均一にすることができ、空洞化を低減することができるので、異種元素拡散金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 4 7 】

本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上部に形成され、銅および銅とは異なる異種元素を含み、平均グレインサイズが $1\ \mu\text{m}$ 以上の異種元素拡散金属膜と、を含むことを特徴とする半導体装置が提供される。

【 0 0 4 8 】

この半導体装置によれば、異種元素拡散金属膜表面のグレインのバウンダリーの数に低減することができるので、異種元素拡散金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 4 9 】

この半導体装置において、異種元素拡散金属膜の結晶の平均グレインサイズを異種元素拡散金属膜の平均膜厚より大きくすることができる。

【 0 0 5 0 】

この半導体装置によれば、異種元素拡散金属膜の結晶の平均グレインサイズが異種元素拡散金属膜の平均膜厚より大きいので、異種元素拡散金属膜の低抵抗化を図ることができる。また、表面のグレインのバウンダリーの数に低減することができるので、異種元素拡散金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 5 1 】

この半導体装置において、異種元素拡散金属膜の表面における面方位を（200）とすることができる。異種元素拡散金属膜の表面における面方位を熱的に安定な（200）配向にすることにより、異種元素拡散金属膜の面方位を揃えることができ、空洞化を低減することができる。これにより、異種元素拡散金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 5 2 】

この半導体装置において、異種元素拡散金属膜は配線を構成し、配線の幅が1 μm 以上とすることができる。

【 0 0 5 3 】

配線の幅が1 μm 以上の比較的に太幅の配線において、配線幅に比してグレインサイズが小さく、配線を構成する金属膜表面に多数のグレインのバウンダリーが存在していたために、ストレスマイグレーションが生じやすかった。本半導体装置によれば、グレインサイズを大きくすることができるので、異種元素拡散金属膜のグレインのバウンダリーの数を低減することができ、配線のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 5 4 】

この半導体装置において、異種元素拡散金属膜は、配線、プラグまたはパッドを構成することができる。この半導体装置において、異種元素拡散金属膜は、めっき法を用いて形成することができる。

【 0 0 5 5 】

本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上に形成された第一の配線と、第一の配線と同一の配線層に設けられ、第一の配線を主として構成する金属により構成された形成された第二の配線と、を含み、第二の配線は第二の配線よりも幅が狭く形成され、第一の配線および第二の配線の表面における面方位が異なることを特徴とする半導体装置が提供される。

【 0 0 5 6 】

この半導体装置において、第二の配線の幅は第一の配線の幅よりも狭く形成され、第一の配線の表面における主たる面方位を（200）とし、第二の配線の表

面における主たる面方位を（１１１）とすることができる。「主たる面方位」とは、最も多い含有率の面方位という意味である。ここで、第一の配線の幅はたとえば１μm以上とすることができ、第二の配線の幅はたとえば１μmより小さくすることができる。

【 0 0 5 7 】

本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上に形成された第一の配線と、第一の配線と同一の配線層に設けられ、第一の配線を主として構成する金属により構成された第二の配線と、を含み、第二の配線は第一の配線よりも幅が狭く形成され、第一の配線は、第一の配線全体に分散された主として構成する金属とは異なる異種元素を含み、第二の配線は、第二の配線の上部表面に形成された異種元素を含むことを特徴とする半導体装置が提供される。

【 0 0 5 8 】

本発明によれば、めっき金属膜により構成された金属配線であって、複数の異種元素を含み、めっき金属膜に含まれるグレインの平均サイズが１μm以上であることを特徴とする金属配線が提供される。金属配線の幅を１μm以上とすることができる。

【 0 0 5 9 】

本発明によれば、めっき金属膜により構成された金属配線であって、複数の異種元素を含み、めっき金属膜が単一のグレインにより構成されたことを特徴とする金属配線が提供される。金属配線の幅を１μm以上とすることができる。

【 0 0 6 0 】

以上、本発明の構成について説明したが、これらを種々変形して用いることも可能である。たとえば、本発明をダマシン法による配線構造に適用した場合、本発明の効果はより顕著となる。以下、そうした態様について説明する。

【 0 0 6 1 】

すなわち、本発明における第一の金属膜、第二の金属膜、および異種元素拡散金属膜は、シングルダマシン法またはデュアルダマシン法により形成することができる。

【 0 0 6 2 】

シングルダマシン法は以下の工程を含む。

- (a) 半導体基板上に、金属膜により構成された第一の配線を形成する工程
- (b) 第一の配線を覆うように半導体基板の上部全体に第一の層間絶縁膜を形成する工程
- (c) 第一の層間絶縁膜を選択的に除去して第一の配線の上面に達する接続孔を形成する工程
- (d) 接続孔の内面を覆うバリアメタル膜を形成した後、接続孔を埋め込むように金属膜を形成する工程
- (e) 接続孔外部に形成された金属膜を除去して接続プラグを形成する工程
- (f) 接続プラグを覆うように半導体基板の上部全体に第二の層間絶縁膜を形成する工程
- (g) 第二の層間絶縁膜を選択的に除去することにより、底面に接続プラグの露出する配線溝を形成する工程
- (h) 配線溝の内面を覆うバリアメタル膜を形成した後、配線溝を埋め込むように金属膜を形成する工程
- (i) 配線溝外部に形成された金属膜を除去することにより第二の配線を形成する工程

【 0 0 6 3 】

このプロセスにおいて、金属膜の全部または一部を本発明における「第一の金属膜」、「第二の金属膜」または「異種元素拡散金属膜」として、本発明に係る半導体装置およびその製造方法を適用することができる。ここで、上記 (a) ～ (i) の工程の一部を適宜省略することもできる。

【 0 0 6 4 】

デュアルダマシン法は以下の工程を含む。

- (a) 半導体基板上に、金属膜により構成された第一の配線を形成する工程
- (b) 第一の配線を覆うように半導体基板の上部全体に第一の層間絶縁膜を形成する工程
- (c) 第一の層間絶縁膜を選択的に除去して第一の配線の上面に達する接続孔と、この接続孔の上部に接続する配線溝を形成する工程

(d) 接続孔および配線溝の内面を覆うバリアメタル膜を形成した後、接続孔および配線溝を埋め込むように金属膜を形成する工程

(e) 配線溝外部に形成された金属膜を除去することにより第二の配線を形成する工程

【 0 0 6 5 】

このプロセスにおいて、金属膜の全部または一部を本発明における「第一の金属膜」、「第二の金属膜」または「異種元素拡散金属膜」として、本発明に係る半導体装置およびその製造方法を適用することができる。ここで、上記 (a) ～ (e) の工程の一部を適宜省略することもできる。

【 0 0 6 6 】

以上のシングルダマシン法またはデュアルダマシン法のプロセスにおいて、第一の層間絶縁膜を形成する工程の前に、第一の配線上に SiC、SiCN、SiN、SiOF、SiOCまたはSiONにより構成された拡散防止膜を形成する工程をさらに含み、接続孔を形成する工程は、第一の層間絶縁膜および拡散防止膜を選択的に除去して接続孔を形成することができる。このように、拡散防止膜を低誘電率材料により形成することにより、半導体装置の特性を向上させることができる。

【 0 0 6 7 】

以上のシングルダマシン法またはデュアルダマシン法のプロセスにおいて、バリアメタル膜は、たとえばTi、W、Ta等の高融点金属を含む。好ましいバリアメタル膜としては、たとえば、Ti、TiN、W、WN、Ta、Ta₂N₅等が例示される。特に、Ta₂N₅およびTaが積層したタンタル系バリアメタルが好ましく用いられる。バリアメタル膜は、スパッタリング法、CVD等の方法によって形成することができる。

【 0 0 6 8 】

以上のようなダマシンプロセスにより形成された配線構造は、
半導体基板と、
この半導体基板上に形成された第一の配線と、
この第一の配線に接続して設けられた接続プラグと、

この接続プラグに接続して設けられた第二の配線と、を含む構成を有する。

【 0 0 6 9 】

この半導体装置において、第一および第二の配線、接続プラグの全部または一部を、本発明における「第一の金属膜」、「第二の金属膜」または「異種元素拡散金属膜」として本発明を適用することができる。

【 0 0 7 0 】

また、本発明は以下のような半導体装置の検査用電極パッドに適用することもできる。

半導体基板と、

半導体基板上に設けられた配線層と、

前記配線層上に設けられた検査用電極パッドと、を含む半導体装置。

この半導体装置において、配線層、電極パッドの全部または一部を、本発明における「第一の金属膜」、「第二の金属膜」または「異種元素拡散金属膜」として本発明を適用することができる。

【 0 0 7 1 】

本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上部に形成され、表面における面方位が略均一の銅含有金属膜と、を含むことを特徴とする半導体装置が提供される。

【 0 0 7 2 】

本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上部に形成され、平均グレインサイズが $1\ \mu\text{m}$ 以上の銅含有金属膜と、を含むことを特徴とする半導体装置が提供される。

【 0 0 7 3 】

この半導体装置によれば、銅含有金属膜表面のグレインのバウンダリーの数を低減することができるので、銅含有金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 7 4 】

本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上部に形成された銅含有金属膜と、を含み、銅含有金属膜の結晶の平均グレインサイズが銅含有金属膜の平均膜

厚より大きいことを特徴とする半導体装置が提供される。

【 0 0 7 5 】

この半導体装置によれば、銅含有金属膜の結晶の平均グレインサイズが銅含有金属膜の平均膜厚より大きいので、銅含有金属膜の低抵抗化を図ることができる。また、表面のグレインのバウンダリーの数を実減することができるので、銅含有金属膜のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 7 6 】

この半導体装置において、銅含有金属膜の表面における面方位が (2 0 0) とすることができる。

【 0 0 7 7 】

この半導体装置において、銅含有金属膜は配線を構成し、配線の幅が 1 μ m 以上とすることができる。

【 0 0 7 8 】

配線の幅が 1 μ m 以上の比較的に太幅の配線において、従来の銅配線では、配線幅に比して結晶の粒子径が小さく、銅膜表面に多数のグレインのバウンダリーが存在していたために、ストレスマイグレーションが生じやすかった。本半導体装置によれば、グレインの粒子径を大きくすることができるので、銅含有金属膜表面のグレインのバウンダリーの実減することができ、配線のストレスマイグレーション耐性を向上することができる。

【 0 0 7 9 】

この半導体装置において、銅含有金属膜は、配線、プラグまたはパッドを構成することができる。

【 0 0 8 0 】

本発明によれば、銅含有めっき膜により構成された金属配線であって、銅含有めっき膜に含まれるグレインの平均サイズが 1 μ m 以上であることを特徴とする金属配線が提供される。金属配線の幅は、1 μ m 以上とすることができる。

【 0 0 8 1 】

本発明によれば、銅含有めっき膜により構成された金属配線であって、銅含有めっき膜が単一のグレインにより構成されたことを特徴とする金属配線が提供さ

れる。金属配線の幅は、 $1\mu\text{m}$ 以上とすることができる。

【0082】

【発明の実施の形態】

図2は、本発明に係る半導体装置の一例を示す断面図である。シリコン基板100上に、ゲート電極102、拡散層104等からなるMOSトランジスタが形成されている。このMOSトランジスタを埋め込むように絶縁膜106が形成されている。絶縁膜106中には、拡散層104と接続する接続プラグ108が設けられており、その上部に第一の銅含有金属配線22a、接続プラグ28および第二の銅含有金属配線22bが順に形成されている。これらの銅配線を含む層の上部には、同様の構成からなる銅配線層が積層され、最上部にはパッシベーション膜114が設けられている。なお、第一の銅含有金属配線22aは、シリコン基板100上に形成された素子等と電氣的に接続されている。また、以下に説明する第一の銅含有金属配線22a、接続プラグ28、および第二の銅含有金属配線22bは、図2に示した半導体装置のどの層に設けられたものであってもよい。図2の点線囲み部116の配線構造を例にとって、本発明の実施の形態を説明する。

【0083】

（第一の実施の形態）

本実施の形態では、本発明をシングルダマシン法による配線に適用した例について図3から図5を参照して説明する。

まず、シリコン基板（不図示）上の絶縁膜106の上に、第一のSiCN膜12（膜厚約70nm）および第一のHSQ膜14a（膜厚約300nm）を成膜し、その上に、所定形状にパターニングされたレジスト膜（不図示）を設け、第一のSiCN膜12および第一のHSQ膜14aを段階的にエッチングすることにより配線溝を形成する（図3（a））。

【0084】

次いで、スパッタリング法および反応性スパッタリング法により、基板全面にTaおよびTa₂N₅が積層したタンタル系バリアメタル膜24a（Taの膜厚約20nm、Ta₂N₅の膜厚約10nm）を形成する（図3（b））。

【 0 0 8 5 】

その後、タンタル系バリアメタル膜 2 4 a 上にシード銅含有金属膜 6 0 (約 1 0 0 n m) をスパッタリング法により形成する。シード銅含有金属膜 6 0 は、銅のみで構成することもできるが、後述するバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 と同様の異種元素を含むこともできる。異種元素としては、後に詳述するが、たとえば A g、W、M g、B e、Z n、P d、C d、A u、H g、P t、S i、Z r、T i、または、S n から選択される一又は二以上の元素が例示される。

【 0 0 8 6 】

次に、電解めっき法によりシード銅含有金属膜 6 0 上にめっき銅膜 6 2 (平坦部の膜厚約 2 0 0 n m) を形成する (図 3 (c))。ここでのめっき液は、たとえば硫酸銅水溶液など通常の銅めっき液を用いることができるが、シード銅含有金属膜 6 0 または後述するバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 が異種元素として銀を含む場合、塩化物イオンを含まないめっき液とすることが好ましい。この場合、たとえば、通常の硫酸銅水溶液から塩化物イオンを除去したものや、ピロリン酸銅めっき液、エチレンジアミン銅めっき液などが好ましく用いられる。こうすることにより、後の工程でめっき銅膜 6 2 中の塩化物イオンと銀が反応して析出することを防止することができ、第一の銅含有金属配線 2 2 a を安定的に形成することができる。めっき銅膜 6 2 は、たとえば、基板を液温約 2 5 ℃ のめっき液に浸漬することにより形成することができる。

【 0 0 8 7 】

このとき、めっき銅膜 6 2 は、(1 1 1) 配向を有する。ここで、シード銅含有金属膜 6 0 とめっき銅膜 6 2 との合計膜厚を t_1 とする。めっき銅膜 6 2 は、配線溝が埋め込まれない程度の厚さに形成されるのが好ましい。クリーニングチャンバにて室温の A r / H ₂ プラズマにより、めっき銅膜 6 2 表面の酸化銅をスパッタリング及び還元する。そのまま大気中に曝さずに、銅含有金属スパッタチャンバにて、基板に R F (高周波) バイアスまたは D C (直流) バイアスを印加したバイアススパッタリング法によりめっき銅膜 6 2 上に、配線溝を埋め込むようにバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 (平坦部の膜厚約 1 0 0 0 n m) を形成する (図 3 (d))。

【0088】

ここで、バイアスパッタ銅含有金属膜64は、上述したシード銅含有金属膜60と同様、銅のみで構成することもできるが、異種元素として、たとえばAg、Be、Mg、Zn、Pd、Cd、Au、Hg、またはPtから選択される一または二以上の金属元素を含むことができる。これらの金属元素は、銅膜中に拡散された場合であっても、銅膜の抵抗上昇率を抑えることができるので、第一の銅含有金属配線22aの低抵抗化を図ることができる。さらに、第一の銅含有金属配線22aを銅とこれらの合金により構成することによって、第一の銅含有金属配線22aのストレスマイグレーション耐性を向上することができる。また、バイアスパッタ銅含有金属膜64は、異種元素として、Zrおよび／またはTiを含むことができる。これらの金属元素を銅膜に拡散させることにより、絶縁膜やバリアメタル膜等と第一の銅含有金属配線22aと銅膜との密着性を向上することができる。また、異種元素としてMg、Sn、Zn、Cd等、銅よりも酸化還元電位の低い金属を用いた場合、金属膜表面の腐食を阻止することができる。さらに、バイアスパッタ銅含有金属膜64は、W、Si、または、Snから選択される一又は二以上の元素を含むこともできる。なお、バイアスパッタ銅含有金属膜64は、以上に例示した異種元素を種々組み合わせて含むことができる。バイアスパッタ銅含有金属膜64における異種元素の含有率の上限は特にないが、後に説明するように、熱処理により、表面における面方位が略均一で、かつ、グレインサイズの大きい銅含有金属膜66aを形成するためには、バイアスパッタ銅含有金属膜64を構成する金属全体に対する含有率が、5 atomic %以下であるのが好ましい。なお、異種元素が銀である場合の原子基準および質量基準の関係は、たとえば銀含有率0.9 atomic %が1.5質量%に相当する関係となっている。

【0089】

バイアスパッタ銅含有金属膜64は、スパッタ成長表面をアルゴンイオンで照射しながら形成する。このとき、シリコン基板に印加するイオン照射エネルギー（プラズマポテンシャル＋自己バイアス）は、80 eV以上、好ましくは200 eV以上とする。成膜中のプラズマ照射による温度上昇を防ぐために、基板温度

を -5°C に設定する。また、バイアススパッタ銅含有金属膜64の膜厚 t_2 が上述の t_1 よりも大きくなるようにバイアススパッタ銅含有金属膜64を形成する。また、 t_1 と t_2 の合計膜厚は、 $1\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましい。これにより、後の熱処理工程で、シード銅含有金属膜60、めっき銅膜62、バイアススパッタ銅含有金属膜64の表面における面方位を略均一にすることができ、グレインサイズを大きくすることができるからである。

【0090】

以上のようにして、シード銅含有金属膜60、めっき銅膜62、バイアススパッタ銅含有金属膜64を形成した基板について、アルゴンまたは窒素等の不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う。この熱処理は、たとえば 200°C 以上 500°C 以下の温度範囲で、30分程度行うことができる。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜64、めっき銅膜62、およびシード銅含有金属膜60の結晶配向性が熱的に安定な(200)に変わり、同時に数 $100\mu\text{m}$ の巨大なグレインを有する銅含有金属膜66aが形成される(図3(e))。また、シード銅含有金属膜60および/またはバイアススパッタ銅含有金属膜64が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素がめっき銅膜62中に拡散するので、銅含有金属膜66a中に異種元素を均一に拡散することができる。

【0091】

次に、配線溝外部に形成された不要な銅含有金属膜66aおよびタンタル系バリアメタル膜24aを化学的機械的研磨(Chemical Mechanical Polishing: CMP)により除去し、配線溝内部にのみ銅含有金属膜66a等を残すようにして第一の銅含有金属配線22aを形成する。(図3(f))。

【0092】

本実施の形態において、銅含有金属膜66aは数 $100\mu\text{m}$ の巨大なグレインを有するので、第一の銅含有金属配線22aの表面にはグレインのバウンダリーがほとんど生じなくなる。そのため、空洞が生じにくくなる。さらに、銅含有金属膜66aは、銅と異種元素との合金により構成されることになるので、第一の銅含有金属配線22aの強度を向上することができる。また、上記のような熱処理を行うことにより、第一の銅含有金属配線22aの抵抗値が熱処理前よりも低

下するという効果も生じる。

【0093】

その後、第二のSiCN膜16（膜厚約70nm）、シリコン酸化膜18（膜厚約350nm）を成膜する（図4（a））。

【0094】

つづいて、リソグラフィ法を用いて、シリコン酸化膜18を第二のSiCN膜16が露出するまでエッチングし、その後、エッチングガスを代えて第二のSiCN膜16をエッチングして第一の銅含有金属配線22aの上面を露出させる。これにより、図4（b）に示すように、接続孔40が形成される。

【0095】

その後、接続孔40内部を埋め込むように、タンタル系バリアメタル膜30を形成する（図4（c））。続いて、タンタル系バリアメタル膜30上に第一の銅含有金属配線22aと同様に、スパッタリング法によりシード銅含有金属膜70、および電解めっき法によりめっき銅膜72を形成する（平坦部の厚さ約200nm）（図4（d））。次いで、めっき銅膜72上にバイアススパッタ銅含有金属膜74（平坦部の厚さ約1000nm）を形成する（図4（e））。バイアススパッタ銅含有金属膜74は、第一の銅含有金属配線22aにおいてバイアススパッタ銅含有金属膜64を形成したのと同様に形成する。このとき、バイアススパッタ銅含有金属膜74の膜厚 t_4 がシード銅含有金属膜70およびめっき銅膜72の合計膜厚 t_3 よりも大きくなるようにする。

【0096】

その後、シード銅含有金属膜70、めっき銅膜72、およびバイアススパッタ銅含有金属膜74を形成した基板を熱処理する。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜74、めっき銅膜72、およびシード銅含有金属膜70の結晶配向性が（200）に変わり、同時に数100 μ mの巨大なグレインを有する銅含有金属膜76が形成される（図4（f））。また、シード銅含有金属膜70および／またはバイアススパッタ銅含有金属膜74が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素がめっき銅膜72中に拡散するので、銅含有金属膜76中に異種元素を均一に拡散することができる。続いて、CMPによる

平坦化を行い、接続プラグ 2 8 を形成した（図 4（g））。

【 0 0 9 7 】

つづいて、接続プラグ 2 8 上部に第三の SiCN 膜 2 0（膜厚約 7 0 n m）、第二の HSQ 膜 1 4 b（膜厚約 3 0 0 n m）を成膜後、ドライエッチングにより配線溝（不図示）を形成し、その内部を埋め込むように、タンタル系バリアメタル膜 2 4 b および銅含有金属膜 6 6 b をこの順で形成する。銅含有金属膜 6 6 b は、第一の銅含有金属配線 2 2 a の銅含有金属膜 6 6 a と同様に成膜する。その後、CMP による平坦化を行い、第二の銅含有金属配線 2 2 b を形成する。以上のようにして、図 5 に示す配線構造が形成される。この後、上述した工程を繰り返すことにより、図 2 に示したような 3 層以上の多層配線構造の半導体装置を形成することができる。

【 0 0 9 8 】

以上のようにして構成した配線構造は、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線 2 2 b が、それぞれ表面における面方位が略均一で、グレインサイズが大きい銅含有金属膜 6 6 a、7 6、および 6 6 b により構成されるので、ストレスマイグレーション耐性を向上することができる。このような構成によりストレスマイグレーション耐性が向上するのは、第一に、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線 2 2 b 表面におけるグレインのバウンダリーの数を低減することができるからである。また、第二に、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線 2 2 b が、銅および異種元素を含む合金により構成されるからである。

【 0 0 9 9 】

以上説明した本実施の形態における配線構造の第一の銅含有金属配線 2 2 a において、シード銅含有金属膜 6 0 およびバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を銀の含有率が 0. 2 % の銀銅合金により構成したものを製造し、銅含有金属膜 6 6 a における銀の濃度を SIMS（二次イオン質量分析法）で確認したところ、銅含有金属膜 6 6 a の厚み方向において、銀が均一に拡散されていることが確認できた。

【 0 1 0 0 】

なお、以上の実施の形態において、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線 2 2 b とともに本発明の方法を適用する例を説明したが、本発明は第一の銅含有金属配線 2 2 a のみ、または接続プラグ 2 8 のみに適用することもできる。

【 0 1 0 1 】

(第二の実施の形態)

本実施の形態において、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線 2 2 b を形成する際に、シード銅含有金属膜 6 0 およびめっき銅膜 6 2 を形成する代わりに、プラズマ C V D 法により C V D 銅膜 6 8 を形成する点で第一の実施の形態と異なる。

【 0 1 0 2 】

本実施の形態について、図 6 および図 7 を参照して説明する。タンタル系バリア金属膜 2 4 a を形成した後、プラズマ C V D 法により、C V D 銅膜 6 8 (平坦部の膜厚約 2 0 0 n m) を形成する(図 6 (a))。このとき、C V D 銅膜 6 8 の結晶配向性は (1 1 1) である。C V D 銅膜 6 8 は、配線溝が埋め込まれない程度の厚さに形成されるのが好ましい。

【 0 1 0 3 】

その後、第一の実施の形態と同様に、クリーニングチャンバにて室温の A r / H ₂ プラズマにより、C V D 銅膜 6 8 表面の酸化銅をスパッタリング及び還元する。そのまま大気中に曝さずに、銅含有金属スパッタチャンバにて、基板に R F (高周波) バイアスまたは D C (直流) バイアスを印加したバイアススパッタリング法により、C V D 銅膜 6 8 上にバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 (平坦部の膜厚約 1 0 0 0 n m) を形成する(図 6 (b))。ここで、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 は、第一の実施の形態と同様、異種元素を含むことができる。スパッタリングの条件は第一の実施の形態と同様である。また、本実施の形態においても、第一の実施の形態と同様に、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 の膜厚 t_6 が C V D 銅膜 6 8 の膜厚 t_5 より大きくなるようにバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成する。また、 t_5 と t_6 の合計膜厚は、1 μ m 以上であるの

が好ましい。

【0104】

次に、アルゴンまたは窒素等の不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う。この熱処理は、たとえば200℃以上500℃以下の温度範囲で、30分程度行うことができる。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜64およびCVD銅膜68の結晶配向性が(200)に変わり、同時に数100μmの巨大なグレインを有する銅含有金属膜66aが形成される(図6(c))。

【0105】

次に、配線溝外部に形成された不要な銅含有金属膜66aおよびタンタル系バリアメタル膜24aをCMPにより除去し、配線溝内部にのみ銅含有金属膜66a等を残すようにして第一の銅含有金属配線22aを形成する。(図6(d))。また、バイアススパッタ銅含有金属膜64が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素がCVD銅膜68中に拡散するので、銅含有金属膜66a中に異種元素を均一に拡散することができる。

【0106】

その後、第二のSiCN膜16(膜厚約70nm)、シリコン酸化膜18(膜厚約350nm)を成膜する(図7(a))。

【0107】

つづいて、リソグラフィ法を用いて、シリコン酸化膜18を第二のSiCN膜16が露出するまでエッチングし、その後、エッチングガスを代えて第二のSiCN膜16をエッチングして第一の銅含有金属配線22aの上面を露出させる。これにより、図7(b)に示すように、接続孔40が形成される。

【0108】

その後、接続孔40内部を埋め込むように、タンタル系バリアメタル膜30を形成する(図7(c))。続いて、タンタル系バリアメタル膜30上に第一の銅含有金属配線22aと同様に、プラズマCVD法により、CVD銅膜78を形成する(平坦部の厚さ約200nm)(図7(d))。次いで、CVD銅膜78上にバイアススパッタ銅含有金属膜74(平坦部の厚さ約1000nm)を形成する(図7(e))。バイアススパッタ銅含有金属膜74は、第一の銅含有金属配

線 2 2 a においてバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成したのと同様に形成する。このとき、バイアススパッタ銅含有金属膜 7 4 の膜厚 t_8 が CVD 銅膜 7 8 の膜厚 t_7 よりも大きくなるようにする。

【0 1 0 9】

その後、CVD 銅膜 7 8、およびバイアススパッタ銅含有金属膜 7 4 を形成した基板を熱処理する。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜 7 4、および CVD 銅膜 7 8 の結晶配向性が (2 0 0) に変わり、同時に数 1 0 0 μ m の巨大なグレインを有する銅含有金属膜 7 6 が形成される (図 7 (f))。また、バイアススパッタ銅含有金属膜 7 4 が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素が CVD 銅膜 7 8 中に拡散するので、銅含有金属膜 7 6 中に異種元素を均一に拡散することができる。続いて、CMP による平坦化を行い、接続プラグ 2 8 を形成する (図 7 (g))。

【0 1 1 0】

つづいて、接続プラグ 2 8 上部に第三の SiCN 膜 2 0 (膜厚約 7 0 nm)、第二の HSQ 膜 1 4 b (膜厚約 3 0 0 nm) を成膜後、ドライエッチングにより配線溝 (不図示) を形成し、その内部を埋め込むように、タンタル系バリア金属膜 2 4 b および銅含有金属膜 6 6 b をこの順で形成する。銅含有金属膜 6 6 b は、第一の銅含有金属配線 2 2 a の銅含有金属膜 6 6 a と同様に成膜する。その後、CMP による平坦化を行い、第二の銅含有金属配線 2 2 b を形成する。以上のようにして、第一の実施の形態で説明したのと同様、図 5 に示す配線構造が形成される。この後、上述した工程を繰り返すことにより、図 1 に示したような 3 層以上の多層配線構造の半導体装置を形成することができる。

【0 1 1 1】

以上のようにして構成した配線構造は、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線 2 2 b が、それぞれ表面における面方位が略均一で、グレインサイズが大きい銅含有金属膜 6 6 a、7 6、および 6 6 b により構成されるので、ストレスマイグレーション耐性を向上することができる。このような構成によりストレスマイグレーション耐性が向上するのは、第一に、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線

2 2 b 表面におけるグレインのバウンダリーの数を低減することができるからである。また、第二に、第一の銅含有金属配線 2 2 a、接続プラグ 2 8、および第二の銅含有金属配線 2 2 b が、銅および異種元素を含む合金により構成されるからである。

【 0 1 1 2 】

(第三の実施の形態)

本実施の形態において、接続プラグ 2 8 および第二の銅含有金属配線 2 2 b をデュアルダマシン法により形成する点で、第一の実施の形態と異なる。図 8 および図 9 において、図 3 から図 5 に示した第一の実施の形態における構成要素と同様のものには同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

【 0 1 1 3 】

第一の銅含有金属配線 2 2 a は、第一の実施の形態に関して図 3 を参照して説明したのと同様に、またはこれ以降に説明する第二の銅含有金属配線 2 2 b と同様に形成することができる。

【 0 1 1 4 】

第一の銅含有金属配線 2 2 a を形成後 (図 8 (a))、第一の銅含有金属配線 2 2 a 上に、第二の SiCN 膜 1 6 およびシリコン酸化膜 5 0 を成膜する (図 8 (b))。つづいて、シリコン酸化膜 5 0 において、リソグラフィ法を用いた段階的なエッチングにより接続プラグ 2 8 用の接続孔 5 2 および配線溝 5 4 を形成する。次に、エッチングガスを代えて第二の SiCN 膜 1 6 のエッチングを行う (図 8 (c))。その後、接続孔 5 2 および配線溝 5 4 を含むシリコン酸化膜 5 0 上全面に Ta および TaN が積層したタンタル系バリアメタル膜 5 6 を形成する (図 8 (d))。

【 0 1 1 5 】

次いで、タンタル系バリアメタル膜 5 6 上にシード銅含有金属膜 8 0 (約 1 0 0 nm) をスパッタリング法により形成する (図 9 (a))。シード銅含有金属膜 8 0 は、第一の実施の形態におけるシード銅含有金属膜 6 0 と同様、銅のみで構成することもできるが、異種元素を含むこともできる。その後、電解めっき法によりシード銅含有金属膜 8 0 上にめっき銅膜 8 2 (平坦部の膜厚約 2 0 0 nm

）を形成する（図 9（b））。このとき、めっき銅膜 8 2 は、（1 1 1）配向を有する。シード銅含有金属膜 8 0 とめっき銅膜 8 2 との合計膜厚を t_g とする。

【0 1 1 6】

クリーニングチャンバにて室温の Ar/H_2 プラズマにより、めっき銅膜 8 2 表面の酸化銅をスパッタリング及び還元する。そのまま大気中に曝さずに、銅含有金属スパッタチャンバにて、基板に RF（高周波）バイアスまたは DC（直流）バイアスを印加し、スパッタリング法によりめっき銅膜 8 2 上にバイアススパッタ銅含有金属膜 8 4（平坦部の膜厚約 1 0 0 0 nm）を形成する（図 9（c））。ここで、バイアススパッタ銅含有金属膜 8 4 は、上述した第一の実施の形態におけるバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 と同様、異種元素を含むことができる。バイアススパッタ銅含有金属膜 8 4 は、スパッタ成長表面をアルゴンイオンで照射しながら形成する。このとき、シリコン基板に印加するイオン照射エネルギー（プラズマポテンシャル+自己バイアス）は、高バイアス、例えば 8 0 e V 以上、好ましくは 2 0 0 e V 以上とすることができる。成膜中のプラズマ照射による温度上昇を防ぐために、基板温度を $-5^{\circ}C$ に設定する。また、バイアススパッタ銅含有金属膜 8 4 の膜厚 t_{10} が上述の t_g よりも大きくなるようにバイアススパッタ銅含有金属膜 8 4 を形成する。また、 t_g と t_{10} の合計膜厚は、1 μm 以上であるのが好ましい。

【0 1 1 7】

次に、アルゴンまたは窒素等の不活性ガス雰囲気中でアルゴンまたは窒素等の不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う。この熱処理は、たとえば 2 0 0 $^{\circ}C$ 以上 5 0 0 $^{\circ}C$ 以下の温度範囲で、3 0 分程度行うことができる。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜 8 4、めっき銅膜 8 2、シード銅含有金属膜 8 0 の結晶配向性が（2 0 0）に変わり、同時に数 1 0 0 μm の巨大なグレインを有する銅含有金属膜 8 6 が形成される（図 9（d））。また、シード銅含有金属膜 8 0 および／またはバイアススパッタ銅含有金属膜 8 4 が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素がめっき銅膜 8 2 中に拡散するので、銅含有金属膜 8 6 中に異種元素を均一に拡散することができる。この後、CMP による平坦化を行い、接続プラグ 2 8 および第二の銅含有金属配線 2 2 b を形成する（

図 9 (e))。

【 0 1 1 8 】

本実施の形態において、銅含有金属膜 8 6 は数 1 0 0 μ m の巨大なグレインを有するので、接続プラグ 2 8 および第二の銅含有金属配線 2 2 b の表面にはグレインのバウンダリーがほとんど生じなくなる。そのため、空洞が生じにくくなる。さらに、銅含有金属膜 8 6 は、銅と異種元素との合金により構成されることになるので、接続プラグ 2 8 および第二の銅含有金属配線 2 2 b の強度を向上することができる。また、上記のような熱処理を行うことにより、接続プラグ 2 8 および第二の銅含有金属配線 2 2 b の抵抗値が熱処理前よりも低下するという効果も生じる。

【 0 1 1 9 】

(第四の実施の形態)

本実施の形態においては、配線幅の異なる二つの配線の製造方法を説明する。以下、図 1 0 を参照して説明する。本実施の形態において、図 3 から図 5 を参照して説明した第一の実施の形態と同様の構成要素には同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

【 0 1 2 0 】

まず、シリコン基板 (不図示) 上の絶縁膜 1 0 6 の上に、第一の S i C N 膜 1 2 および第一の H S Q 膜 1 4 a を成膜し、その上に、所定形状にパターニングされたレジスト膜 (不図示) を設け、第一の S i C N 膜 1 2 および第一の H S Q 膜 1 4 a を段階的にエッチングすることにより第一の配線溝 9 0 および第二の配線溝 9 1 を形成する (図 1 0 (a))。ここで、第一の配線溝 9 0 は第二の配線溝 9 1 よりも幅が広く形成される。第一の配線溝 9 0 の幅は、たとえば 1 μ m 以上とする。また、第二の配線溝 9 1 の幅は、たとえば 1 μ m より狭くする。

【 0 1 2 1 】

次いで、スパッタリング法および反応性スパッタリング法により、基板全面に T a および T a N が積層したタンタル系バリアメタル膜 2 4 a (T a の膜厚約 2 0 n m、T a N の膜厚約 1 0 n m) を形成する (図 1 0 (b))。

【 0 1 2 2 】

その後、タンタル系バリア金属膜 2 4 a 上にシード銅含有金属膜 6 0 (約 1 0 0 n m) をスパッタリング法により形成する。次に、電解めっき法によりシード銅含有金属膜 6 0 上にめっき銅膜 6 2 (平坦部の膜厚約 2 0 0 n m) を形成する (図 1 0 (c))。めっき銅膜 6 2 は、第一の実施の形態と同様に形成することができる。このとき、めっき銅膜 6 2 は、(1 1 1) 配向を有する。また、めっき銅膜 6 2 は、第一の配線溝 9 0 が埋め込まれない程度の厚さに形成される。

【 0 1 2 3 】

続いて、クリーニングチャンバにて室温の $A r / H_2$ プラズマにより、めっき銅膜 6 2 表面の酸化銅をスパッタリング及び還元する。そのまま大気中に曝さずに、銅含有金属スパッタチャンバにて、基板に R F (高周波) バイアスまたは D C (直流) バイアスを印加したバイアススパッタリング法によりめっき銅膜 6 2 上に、第一の配線溝 9 0 を埋め込むようにバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成する (図 1 0 (d))。バイアススパッタリング法の条件は第一の実施の形態と同様である。ここで、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 の平坦部における膜厚 t_{12} がシード銅含有金属膜 6 0 およびめっき銅膜 6 2 の平坦部における合計膜厚 t_{11} よりも大きくなるようにバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成する。また、 t_{11} と t_{12} の合計膜厚は、 $1 \mu m$ 以上であるのが好ましい。

【 0 1 2 4 】

以上のようにして、シード銅含有金属膜 6 0、めっき銅膜 6 2、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成した基板について、アルゴンまたは窒素等の不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う。この熱処理は、たとえば $200^{\circ}C$ 以上 $500^{\circ}C$ 以下の温度範囲で、30 分程度行うことができる。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4、めっき銅膜 6 2、およびシード銅含有金属膜 6 0 の結晶配向性が (2 0 0) に変わり、同時に数 $100 \mu m$ の巨大なグレインを有する銅含有金属膜 6 6 a が形成される (図 1 0 (e))。また、シード銅含有金属膜 6 0 および／またはバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素がめっき銅膜 6 2 中に拡散するので、銅含有金属膜 6 6 a 中に異種元素を均一に拡散することができる。

【 0 1 2 5 】

次に、第一の配線溝 9 0 および第二の配線溝 9 1 外部に形成された不要な銅含有金属膜 6 6 a およびタンタル系バリア金属膜 2 4 a を CMP により除去し、第一の配線溝 9 0 および第二の配線溝 9 1 内部にのみ銅含有金属膜 6 6 a 等を残すようにして太幅配線 9 4 および細幅配線 9 6 を形成する。(図 1 0 (f))。

【 0 1 2 6 】

以上の処理により、太幅配線 9 4 および細幅配線 9 6 とともに、表面における面方位が (2 0 0) の銅含有金属膜 6 6 a により構成される。また、シード銅含有金属膜 6 0 および／またはバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素がめっき銅膜 6 2 中に拡散するので、太幅配線 9 4 および細幅配線 9 6 のいずれにおいても、銅含有金属膜 6 6 a 中に異種元素を均一に拡散することができる。

【 0 1 2 7 】

(第五の実施の形態)

本実施の形態においては、第四の実施の形態と同様、配線幅の異なる二つの配線を形成する方法を説明する。本実施の形態においては、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 の膜厚が第四の実施の形態と異なる。バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 の膜厚を変えることにより、太幅配線 9 4 および細幅配線 9 6 を構成する銅含有金属膜の表面における面方位を異ならせ、また銅含有金属膜が異種元素を含む場合、異種元素の拡散状態を異ならせる。以下、図 1 0 および図 1 1 を参照して説明する。

【 0 1 2 8 】

まず、第四の実施の形態において図 1 0 (a) ～図 1 0 (c) を示して説明したのと同様に、第一の配線溝 9 0 および第二の配線溝 9 1 上にタンタル系バリア金属膜 2 4 a を形成した。その後、タンタル系バリア金属膜 2 4 a 上に、スパッタリング法によりシード銅含有金属膜 6 0、続いてその上にめっき銅膜 6 2 を形成する。本実施の形態において、シード銅含有金属膜 6 0 は異種元素を含まないものとすることができる。このとき、めっき銅膜 6 2 は、第一の配線溝 9 0 が埋め込まれない程度の厚さに形成される。

【 0 1 2 9 】

続いて、クリーニングチャンバにて室温の Ar/H_2 プラズマにより、めっき銅膜 6 2 表面の酸化銅をスパッタリング及び還元する。そのまま大気中に曝さずに、銅含有金属スパッタチャンバにて、基板に RF（高周波）バイアスまたは DC（直流）バイアスを印加したバイアススパッタリング法によりめっき銅膜 6 2 上に、第一の配線溝 9 0 を埋め込むようにバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成する（図 1 1（a））。スパッタ条件等のバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 の形成方法は第四の実施の形態と同様であるが、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 の平坦部における膜厚 t_{13} がシード銅含有金属膜 6 0 およびめっき銅膜 6 2 の平坦部における合計膜厚 t_{11} 以下となるようにバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成する。ただし、このとき、第一の配線溝 9 0 内部に形成されたバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 の膜厚 t_{14} が、上述の膜厚 t_{11} よりも大きくなるように形成される。

【0130】

以上のようにして、シード銅含有金属膜 6 0、めっき銅膜 6 2、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成した基板について、アルゴンまたは窒素等の不活性ガス雰囲気中で 200°C 以上 500°C 以下の温度範囲で熱処理を行う。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 中の異種元素がめっき銅膜 6 2 およびシード銅含有金属膜 6 0 中に拡散して銅含有金属膜 6 6 a が形成される（図 1 1（b））。このとき、第一の配線溝 9 0 内部およびその上部におけるバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4、めっき銅膜 6 2、およびシード銅含有金属膜 6 0 の結晶配向性が (200) に変わり、同時に数 $100\ \mu\text{m}$ の巨大なグレインが形成される。ここで、熱処理は 5 分から 10 分の間の比較的短い時間、ランプアニールにより行うことができる。このようにすると、第一の配線溝 9 0 においては、その内部にバイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 が埋め込まれているので、短時間の熱処理により異種元素が均一に拡散するが、第二の配線溝 9 1 は、シード銅含有金属膜 6 0 およびめっき銅膜 6 2 により埋め込まれているため、上部のみに異種元素が拡散する。

【0131】

次に、第一の配線溝 9 0 および第二の配線溝 9 1 外部に形成された不要な銅含

有金属膜 6 6 a およびタンタル系バリア金属膜 2 4 a を CMP により除去し、第一の配線溝 9 0 および第二の配線溝 9 1 内部にのみ銅含有金属膜 6 6 a 等を残すようにして太幅配線 9 4 および細幅配線 9 6 を形成する。(図 1 1 (c))。

【 0 1 3 2 】

以上の処理により、太幅配線 9 4 は、表面における面方位が (2 0 0) の銅含有金属膜 6 6 a により構成される。一方、細幅配線 9 6 は、表面における面方位が (1 1 1) の銅含有金属膜 9 8 により構成される。また、バイアススパッタ銅含有金属膜 6 4 が異種元素を含んでいる場合、この熱処理により、その異種元素がめっき銅膜 6 2 中に拡散する。太幅配線 9 4 においては、配線全体に異種金属が均一に拡散する。一方、細幅配線 9 6 においては、配線上部にのみ異種元素を拡散することができる。

【 0 1 3 3 】

このように、本実施の形態においては、ストレスマイグレーション耐性が問題となる太幅配線をグレインサイズが大きく、異種元素が配線全体に拡散された銅含有金属膜により構成することができ、低抵抗化が望まれる細幅配線においては、上部のみに異種元素を拡散することができる。これにより、太幅配線のストレスマイグレーション耐性を向上するとともに細幅配線の配線抵抗を低減することができる。

【 0 1 3 4 】

(第六の実施の形態)

本実施の形態において、本発明を電極パッドに適用した例を説明する。半導体ウェーハに形成された半導体デバイスの電気的特性検査を行う場合、被測定デバイスに検査用の電極パッドを形成しておき、この電極パッドに探針プローブを接触させ、検査を行う方法が一般的に採用される。以下、図 1 2 および図 1 3 を参照して検査用の電極パッドを形成した半導体装置の製造方法を説明する。

【 0 1 3 5 】

まず、シリコン基板 2 1 0 上に、配線層及び層間絶縁膜等が積層した多層膜 2 1 1 を形成する。最上層の層間絶縁膜上に、TiN/Ti 膜 2 1 3、Al 配線 2 1 2 および TiN/Ti 膜 2 1 3 が積層した配線層を形成する。次いで、SiO

N 及び SiO_2 を含む 2 層構造の層間絶縁膜 2 1 4 を形成し、配線層表面から開口するビアホール 2 2 2 を形成する（図 1 2 （a））。

【 0 1 3 6 】

つづいて層間絶縁膜 2 1 4 上に密着 T i 層（または T i W 層） 2 1 5、銅含有金属膜 2 1 7 および T i W 膜 2 2 1 を順次形成した後、ハンダボールの搭載に適した大きさにパターンニングし、パッド電極を形成する（図 1 2 （b））。銅含有金属膜 2 1 7 は、第一の実施の形態で説明した銅含有金属膜 6 6 a と同様のプロセスにより形成する。まず、T i 層（または T i W 層） 2 1 5 上に、シード銅含有金属膜（約 1 0 0 n m）をスパッタリング法により形成し、その上にめっき銅膜（平坦部の膜厚約 2 0 0 n m）を形成する。次いで、バイアススパッタリング法により、めっき銅膜 6 2 上に、バイアススパッタ銅含有金属膜（平坦部の膜厚約 1 0 0 0 n m）を形成する。ここで、シード銅含有金属膜は銅のみで構成することもできるが、異種元素としてたとえば M g、S n、Z n、C d 等、銅よりも酸化還元電位の低い金属から選択される一又は二以上の元素を含むことができる。また、バイアススパッタ銅含有金属膜も前述の異種元素を含むことができる。このようにしてシード銅含有金属膜、めっき銅膜、バイアススパッタ銅含有金属膜を形成した基板について、アルゴンまたは窒素等の不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う。この熱処理は、たとえば 2 0 0 °C 以上 5 0 0 °C 以下の温度範囲で、3 0 分程度行うことができる。この熱処理により、バイアススパッタ銅含有金属膜、めっき銅膜、シード銅含有金属膜の結晶配向性が（2 0 0）に変わり、同時に数 1 0 0 μm の巨大なグレインを有する銅含有金属膜 2 1 7 が形成される。また、バイアススパッタ銅含有金属膜、および／またはシード銅含有金属膜に含まれる異種元素がめっき銅膜中に拡散するので、銅含有金属膜 2 1 7 中に異種元素を均一に拡散することができる。

【 0 1 3 7 】

次いで、パッド電極を覆うようにポリイミド膜 2 1 8 を形成した後、ポリイミド膜 2 1 8 をパターンニングして開口を設け、パッド電極の一部を露出する（図 1 2 （c））。その後、開口部底部の T i W 膜 2 2 1 を、過酸化水素水を用いたウェットエッチングによって除き、図 1 2 （d）に示した構造を得る。

【 0 1 3 8 】

この状態で半導体ウェーハに形成された半導体デバイスの電気的特性検査が行われる。このとき、銅含有金属膜 2 1 7 表面に銅の酸化膜 2 2 3 が形成される（図 1 3（a））。その後、開口 2 1 9 内にハンダボール 2 2 0 が形成される（図 1 3（b））。

【 0 1 3 9 】

本実施の形態においては、パッド電極が腐食性の高い異種元素を含む銅含有金属により構成されているので、製造工程中の腐食を防ぐことができる。

【 0 1 4 0 】

【実施例】

以上の第一の実施の形態に記載した方法で、図 1 4 に示すような 2 層配線構造を作製し、歩留試験を行った。この 2 層配線構造は、ビアチェーンとよばれるものであり、第一の銅含有金属配線 2 2 a が 1 万本平行に設けられ、これらと直交して、第二の銅含有金属配線 2 2 b が 1 万本平行に設けられている。これらの配線間は 2 万個の接続プラグ 2 8 により接続されている。図中、半導体基板および層間絶縁膜等は省略している。このビアチェーンの端部 2 点に所定の電圧を印加すると、図中矢線で示す方向に電流が流れる。これにより、1 万本の第一の銅含有金属配線 2 2 a、1 万本の第二の銅含有金属配線 2 2 b および 2 万個の接続プラグ 2 8 を経由する電気抵抗が測定される。

【 0 1 4 1 】

第一の実施の形態に記載した方法で、銅含有金属膜 6 6 a、7 6、および 6 6 a における金属全体に対する銀の含有量が 0. 1 % のものを配線構造 a 1、銀を含まないものを配線構造 a 2 とする。

【 0 1 4 2 】

なお、参照として、シード銅含有金属膜 6 0 形成後、めっき法により配線溝を埋め込むようにめっき銅膜を形成した後、アニール処理を行った配線および同様にして形成した接続プラグを含む配線構造についてもビアチェーン抵抗の歩留を測定した。この方法で、配線および接続プラグを構成する金属全体における銀の含有率が 0. 1 % のものを配線構造 a 3、銀を含まないものを配線構造 a 4 とす

る。

【 0 1 4 3 】

【表 1】

表 1

配線構造	成膜方法	銀含有率質量%	歩留(%)
a1	めっき法→バイアスパッタリング	0. 1	88～98
a2	めっき法→バイアスパッタリング	0	78～84
a3	めっき法	0. 1	72～82
a4	めっき法	0	8～19

【 0 1 4 4 】

配線構造 a 1 ～ a 4 について、それぞれビアチェーンの抵抗値の初期値を 1 0 0 % として試料の抵抗値を相対値として算出した。表中、抵抗値の範囲が示されているが、これは、上記試料を複数用意し、評価の結果、得られた抵抗の範囲を示したものである。数値が高い程、ストレスマイグレーション耐性が高い。

【 0 1 4 5 】

表 1 に示すように、めっき法およびバイアスパッタリング法で形成した銅含有金属膜を熱処理し、金属膜表面における結晶の面方位を (2 0 0) にするとともにグレインを大きく成長させた配線構造 a 1 および a 2 の歩留は、めっき法で形成した後に熱処理しただけの配線構造 a 3 および a 4 に比べて、良好な値を示した。

【 0 1 4 6 】

また、配線を構成する金属中に異種元素である銀が含まれる配線構造 a 1 の歩留は、銅単独の配線構造 a 2 に比べて良好な値を示した。以上の結果から、本実施例の結果から、銅含有金属膜表面における面方位を均一にするとともに、銅含有金属膜のグレインを大きくして銅含有金属膜表面のグレインの数を減らすことにより、ストレスマイグレーションをさらに抑制できることが示された。さらに、配線構造を銀等の異種元素を含む銅合金により構成することによって、ストレ

スマイグレーションを効果的に抑制できることが確認された。

【 0 1 4 7 】

【発明の効果】

本発明によれば、金属領域を備えた半導体装置において、EMおよびストレスマイグレーション耐性を高め、信頼性を向上させることができる。さらに本発明によれば、こうした半導体装置を安定的に製造できるプロセスが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

ダマシン法により形成した銅多層配線の断面模式図である。

【図 2】

本発明に係る半導体装置の一例を示す断面図である。

【図 3】

図 2 に示した配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 4】

図 2 に示した配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 5】

図 2 に示した配線構造の一部を示す図である。

【図 6】

第二の実施の形態における配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 7】

第二の実施の形態における配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 8】

第三の実施の形態における配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 9】

第三の実施の形態における配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 1 0】

第四の実施の形態における配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 1 1】

第五の実施の形態における配線構造の製造方法を示す工程図である。

【図 1 2】

第六の実施の形態における電極パッドの製造方法を示す工程図である。

【図 1 3】

第六の実施の形態における電極パッドの製造方法を示す工程図である。

【図 1 4】

実施例で評価に用いた 2 層配線構造の概略図である。

【符号の説明】

- 1 2 第一の S i C N 膜
- 1 4 a 第一の H S Q 膜
- 1 4 b 第二の H S Q 膜
- 1 6 第二の S i C N 膜
- 1 8 シリコン酸化膜
- 2 0 第三の S i C N 膜
- 2 2 a 第一の銅含有金属配線
- 2 2 b 第二の銅含有金属配線
- 2 4 a タンタル系バリアメタル膜
- 2 4 b タンタル系バリアメタル膜
- 2 8 接続プラグ
- 3 0 タンタル系バリアメタル膜
- 4 0 接続孔
- 5 0 シリコン酸化膜
- 5 2 接続孔
- 5 4 配線溝
- 5 6 タンタル系バリアメタル膜
- 6 0 シード銅含有金属膜
- 6 2 めっき銅膜
- 6 4 バイアススパッタ銅含有金属膜
- 6 6 a 銅含有金属膜
- 6 6 b 銅含有金属膜

- 6 8 C V D 銅膜
- 7 0 シード銅含有金属膜
- 7 2 めっき銅膜
- 7 4 バイアススパッタ銅含有金属膜
- 7 6 銅含有金属膜
- 7 8 C V D 銅膜
- 8 0 シード銅含有金属膜
- 8 2 めっき銅膜
- 8 4 バイアススパッタ銅含有金属膜
- 8 6 銅含有金属膜
- 9 0 第一の配線溝
- 9 1 第二の配線溝
- 9 4 太幅配線
- 9 6 細幅配線
- 9 8 銅含有金属膜
- 1 0 0 シリコン基板
- 1 0 2 ゲート電極
- 1 0 4 拡散層
- 1 0 6 絶縁膜
- 1 0 8 接続プラグ
- 1 1 4 パッシベーション膜
- 1 1 6 点線囲み部
- 2 1 0 シリコン基板
- 2 1 1 多層膜
- 2 1 2 A l 配線
- 2 1 3 T i N / T i 膜
- 2 1 4 層間絶縁膜
- 2 1 5 密着 T i 層
- 2 1 7 銅含有金属膜

2 1 8 ポリイミド膜

2 1 9 開口

2 2 0 ハンダボール

2 2 1 T i W密着層

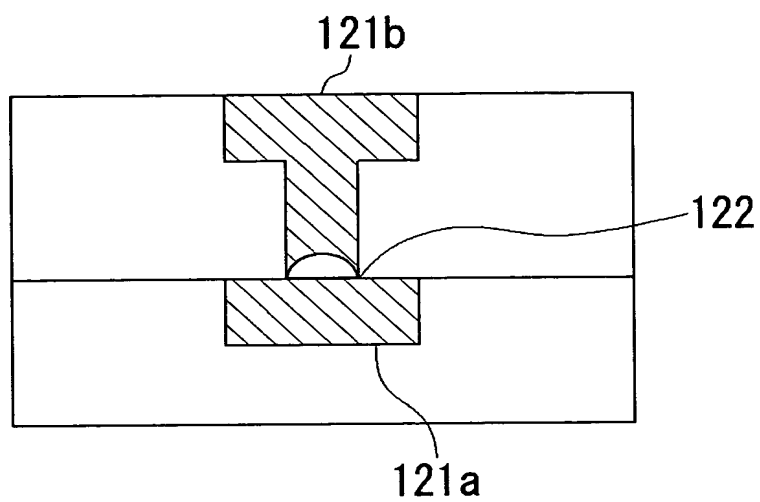
2 2 2 ビアホール

2 2 3 酸化膜

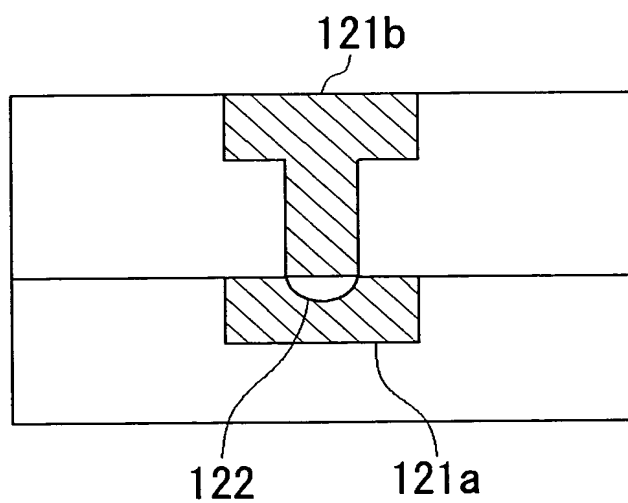
【書類名】 図面

【図 1】

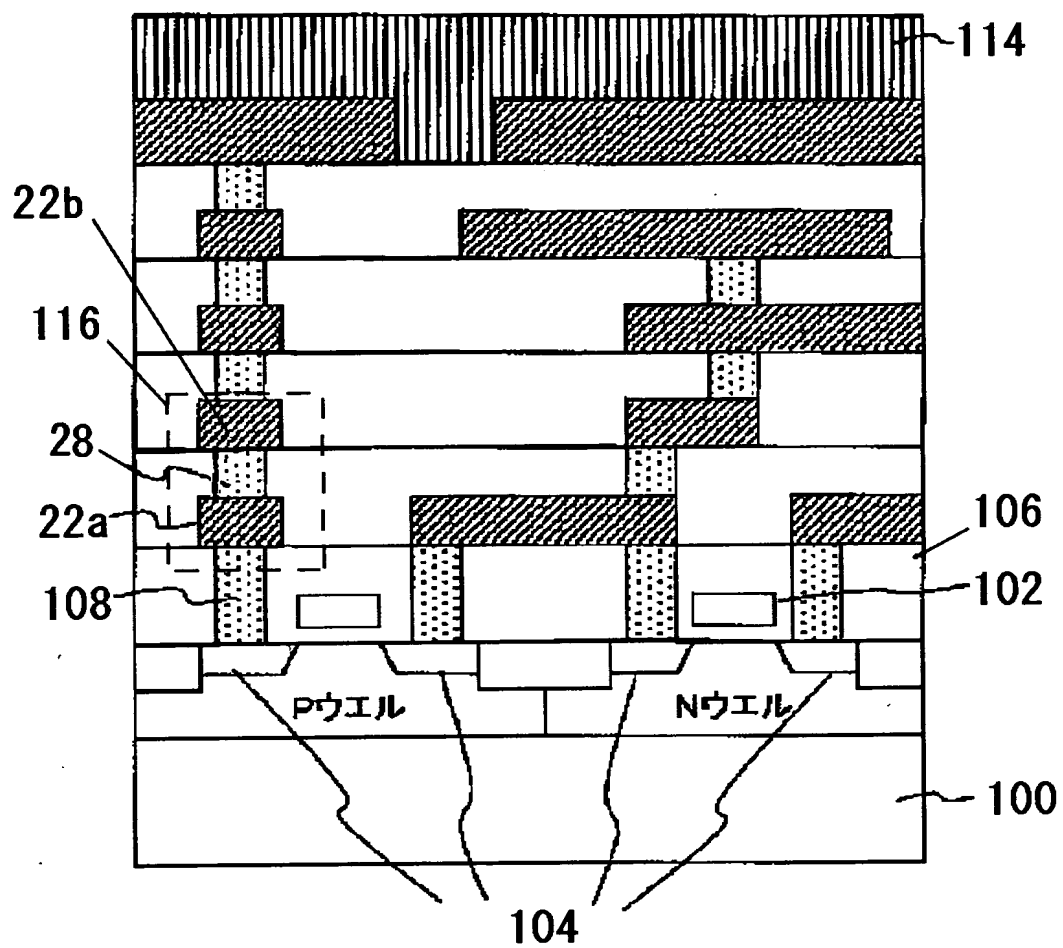
(a)



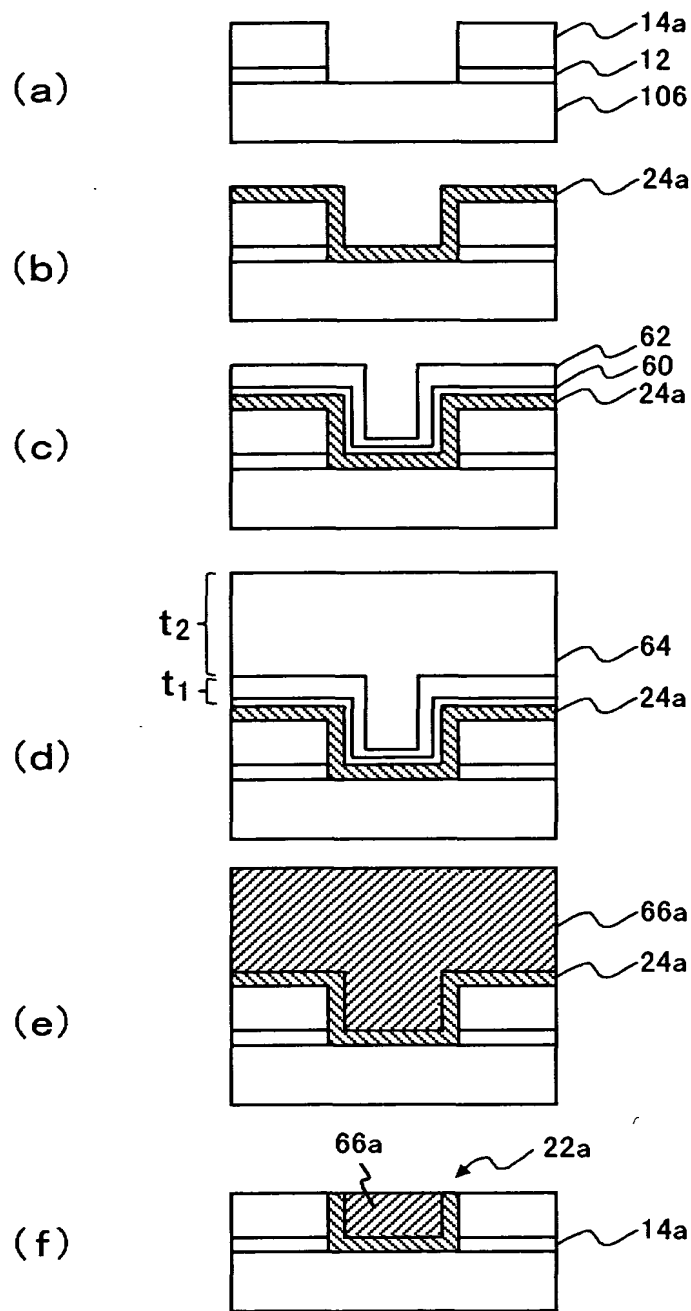
(b)



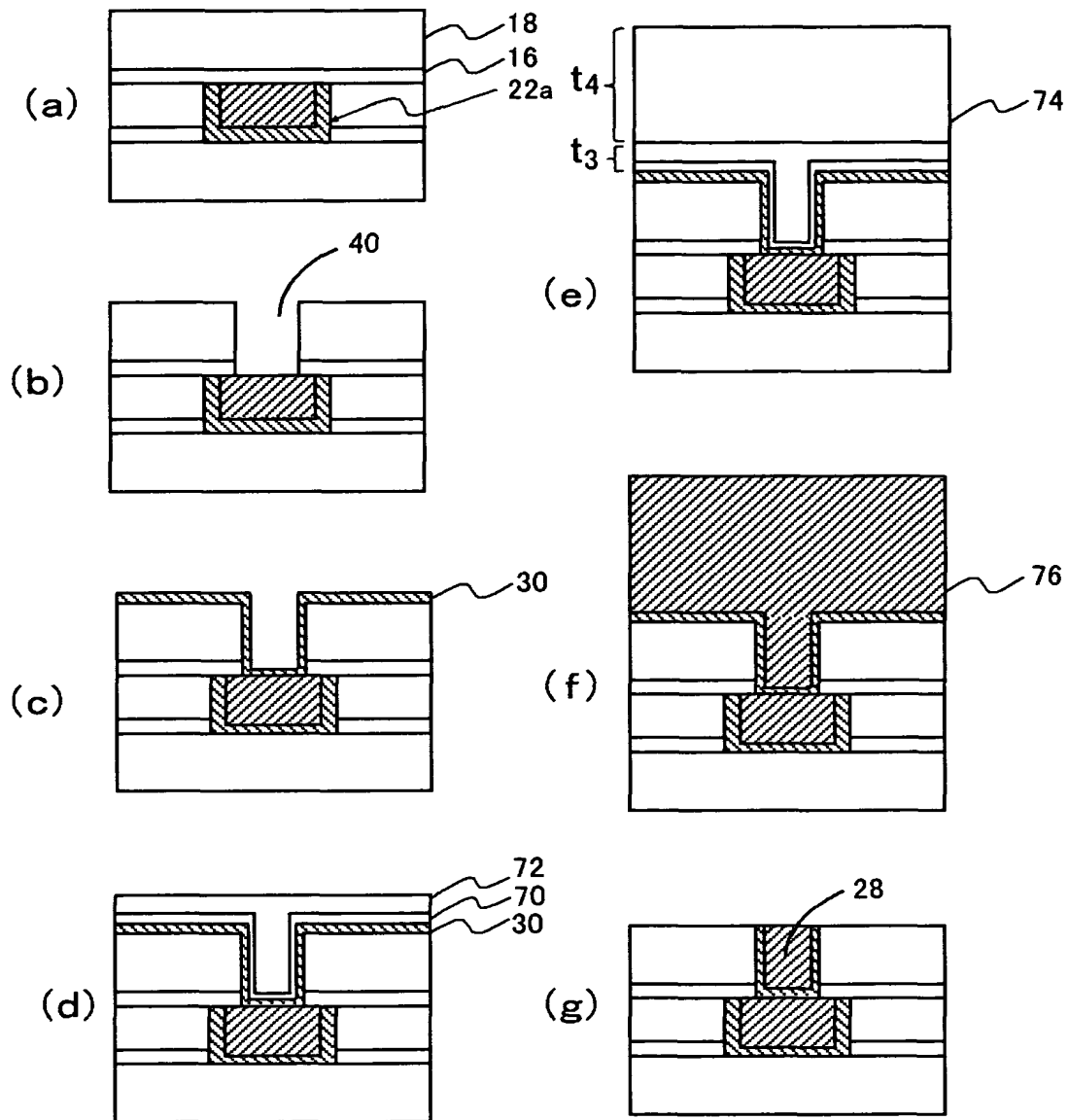
【図 2】



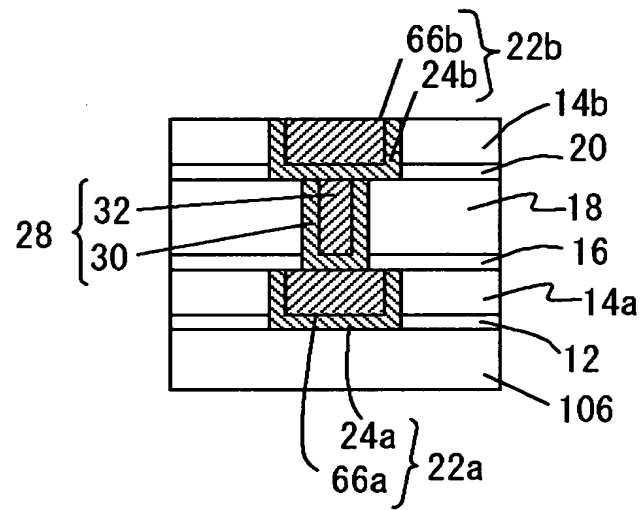
【図 3】



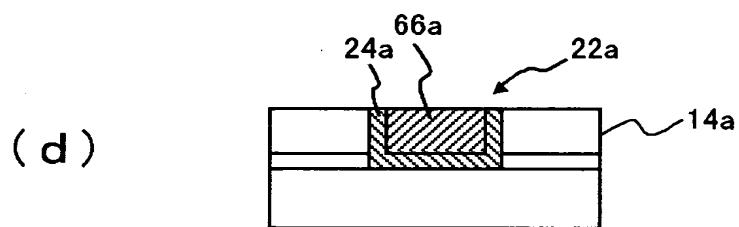
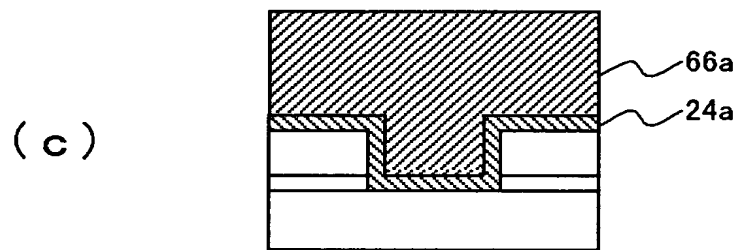
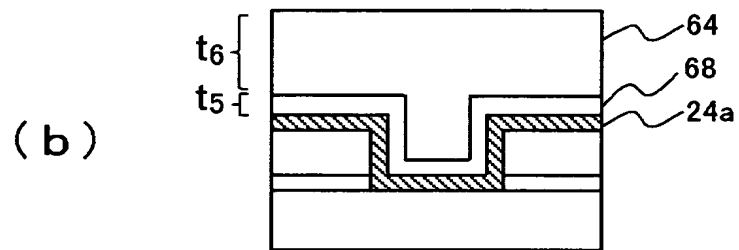
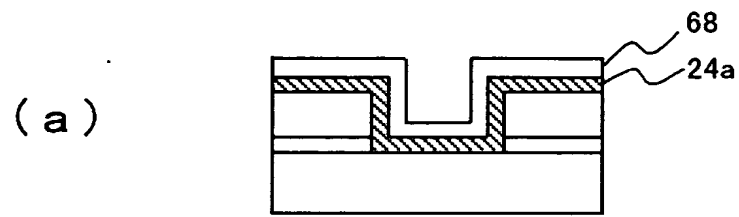
【図 4】



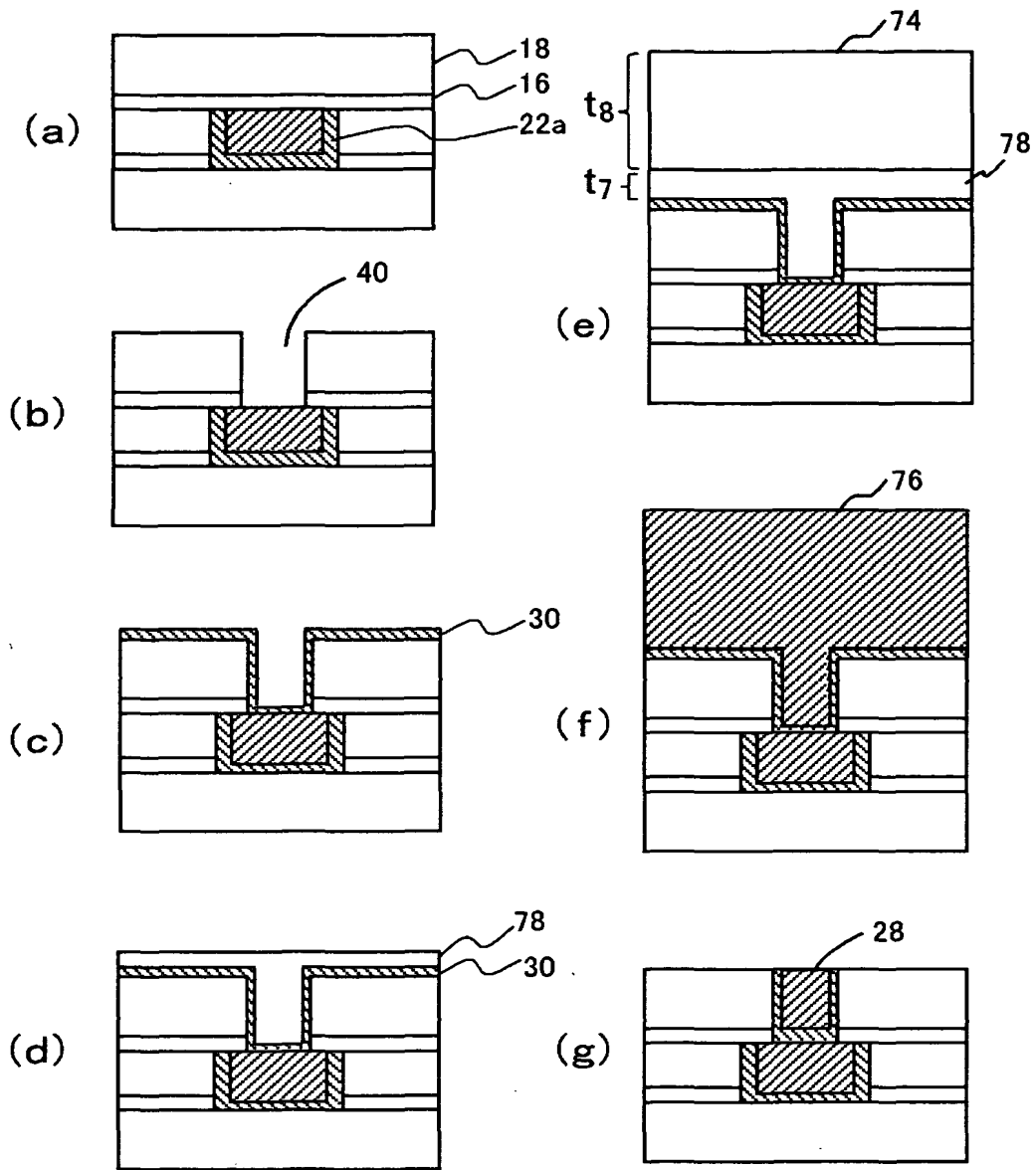
【図 5】



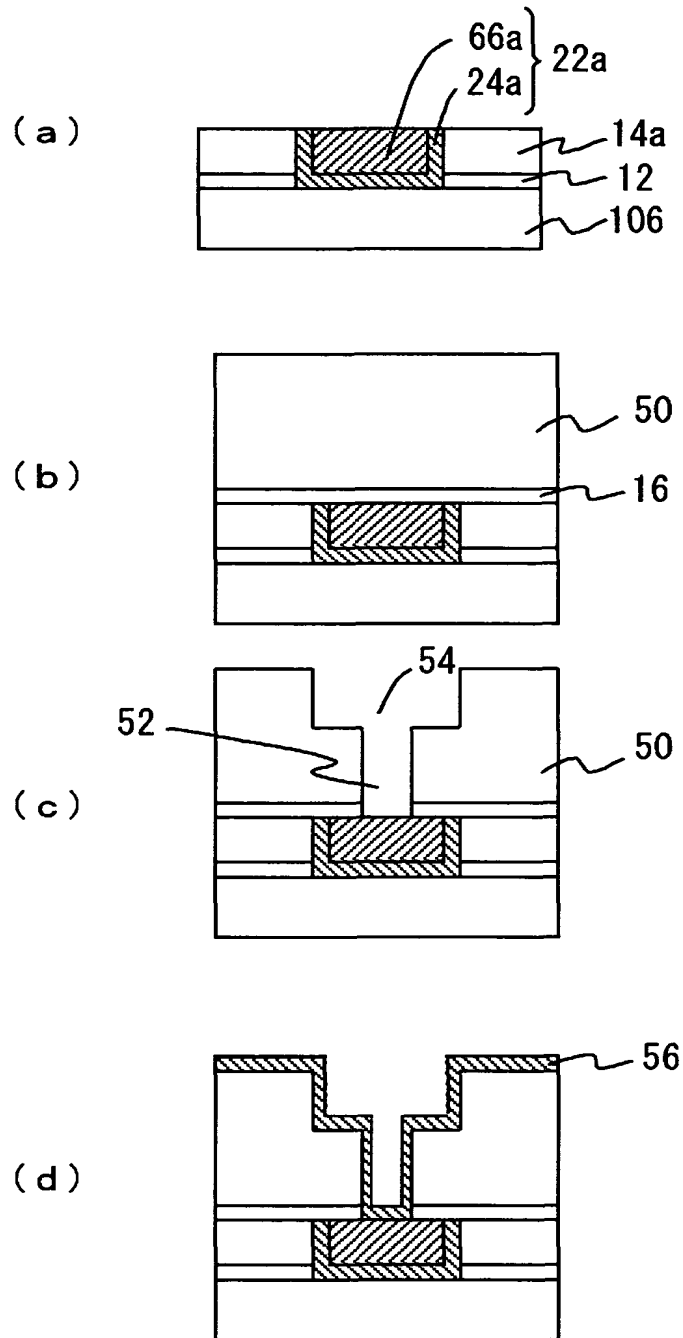
【図 6】



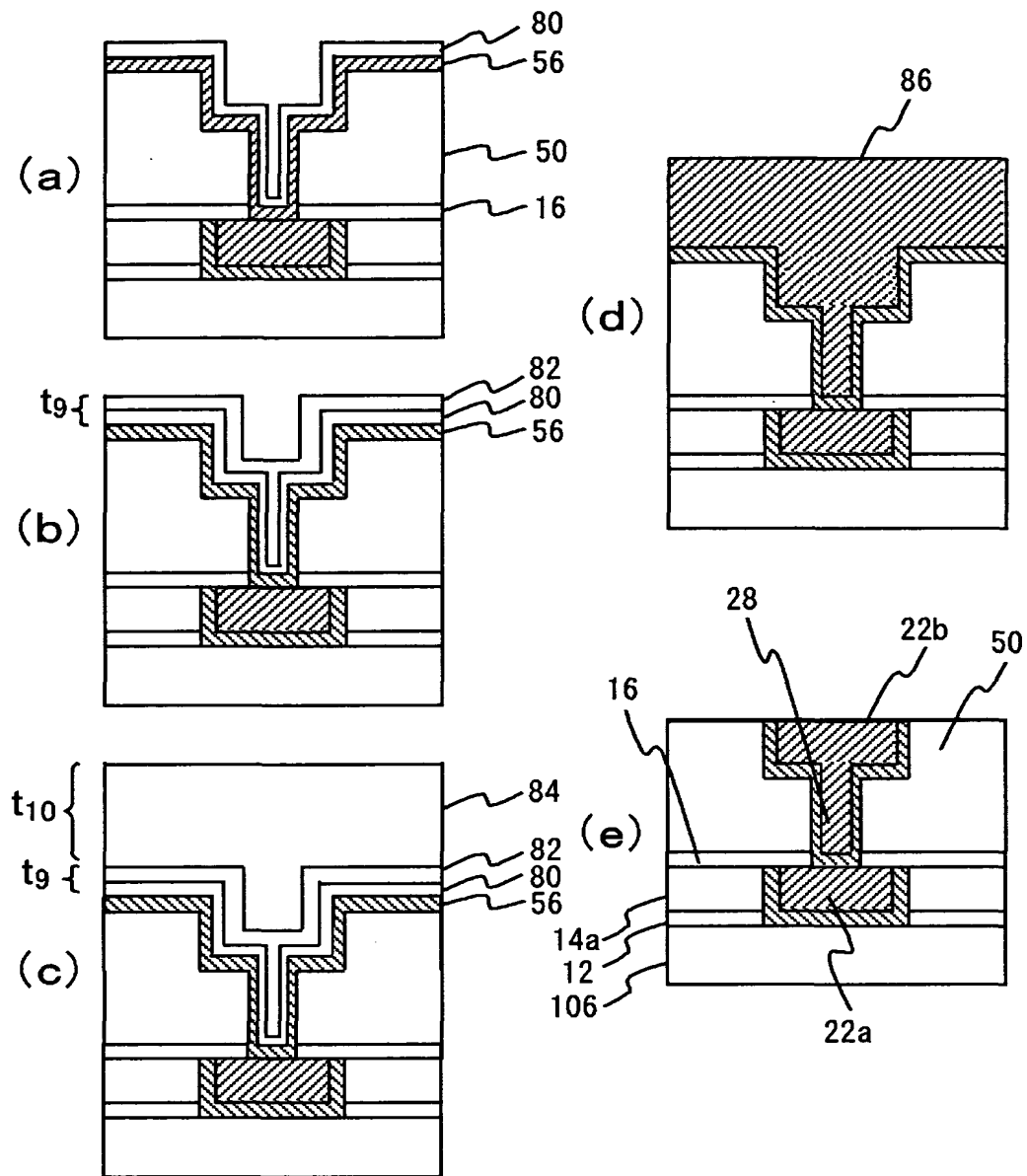
【図7】



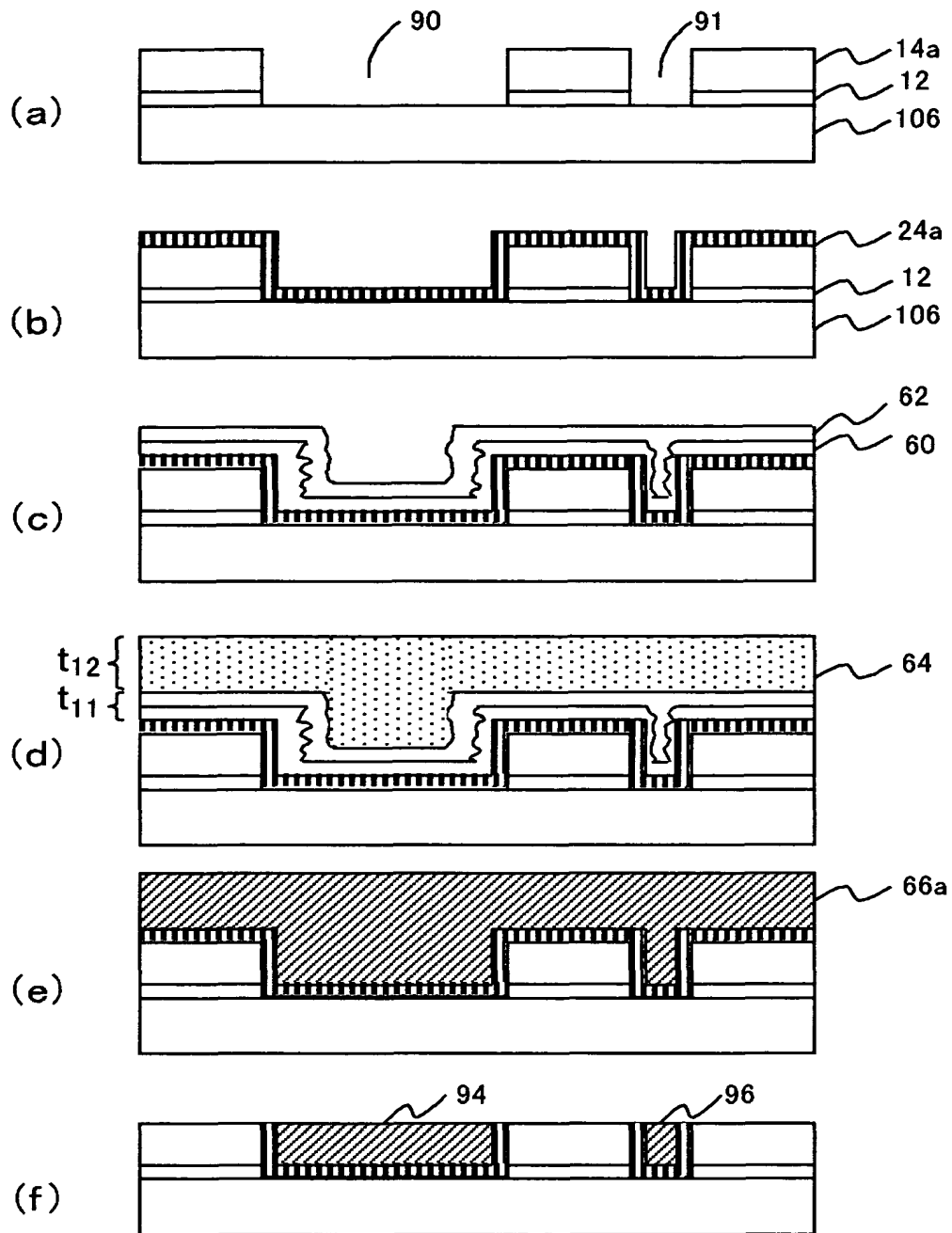
【図 8】



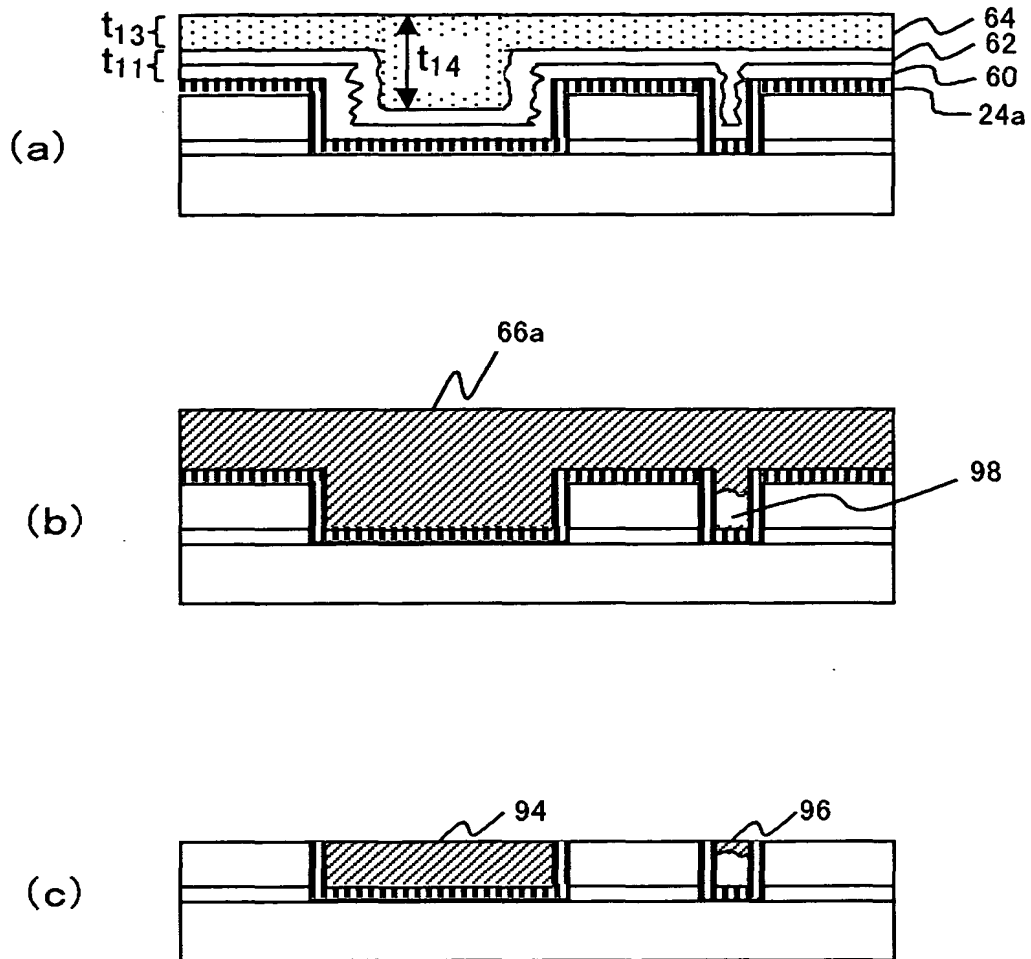
【図9】



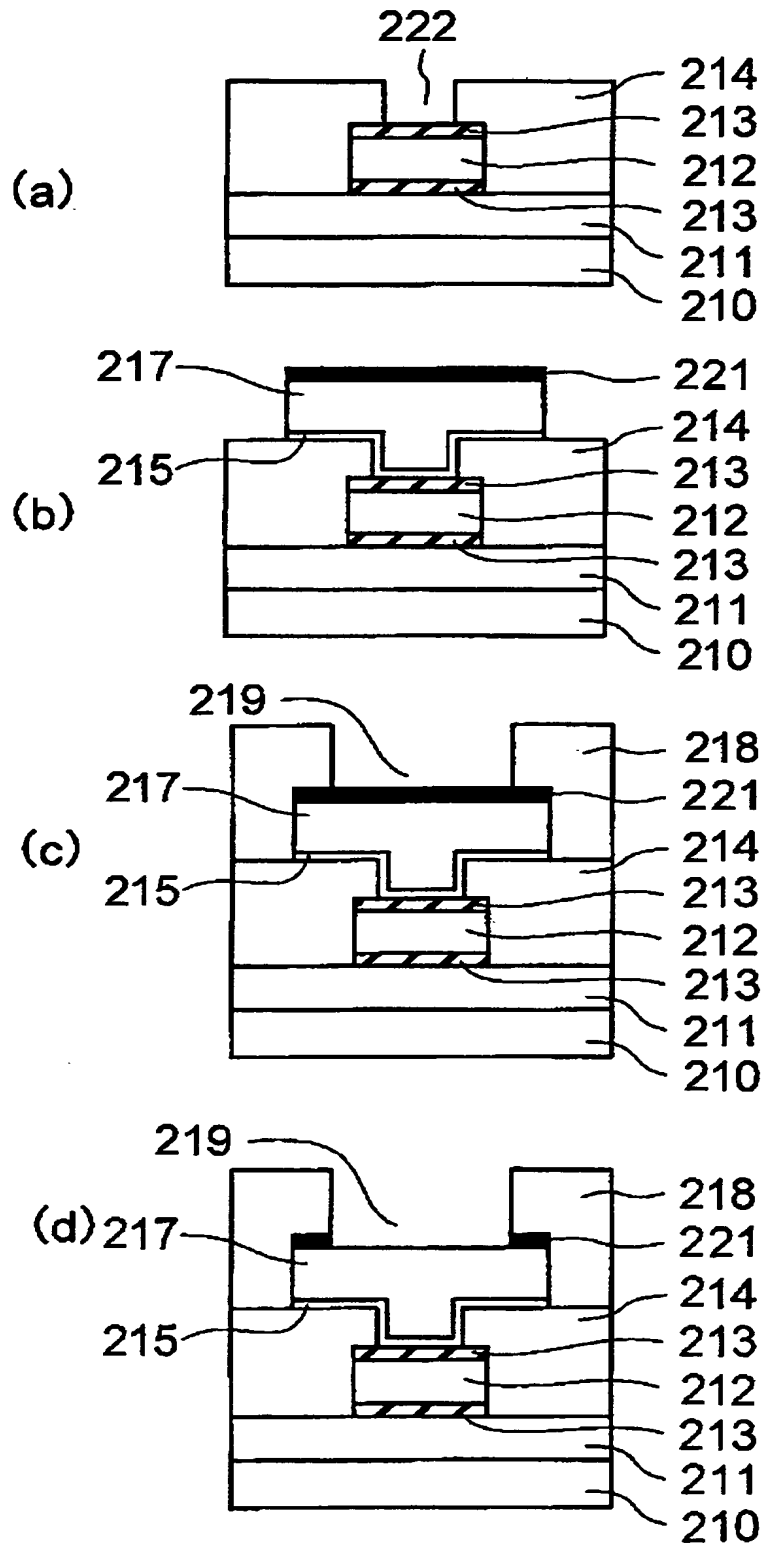
【図 1 0】



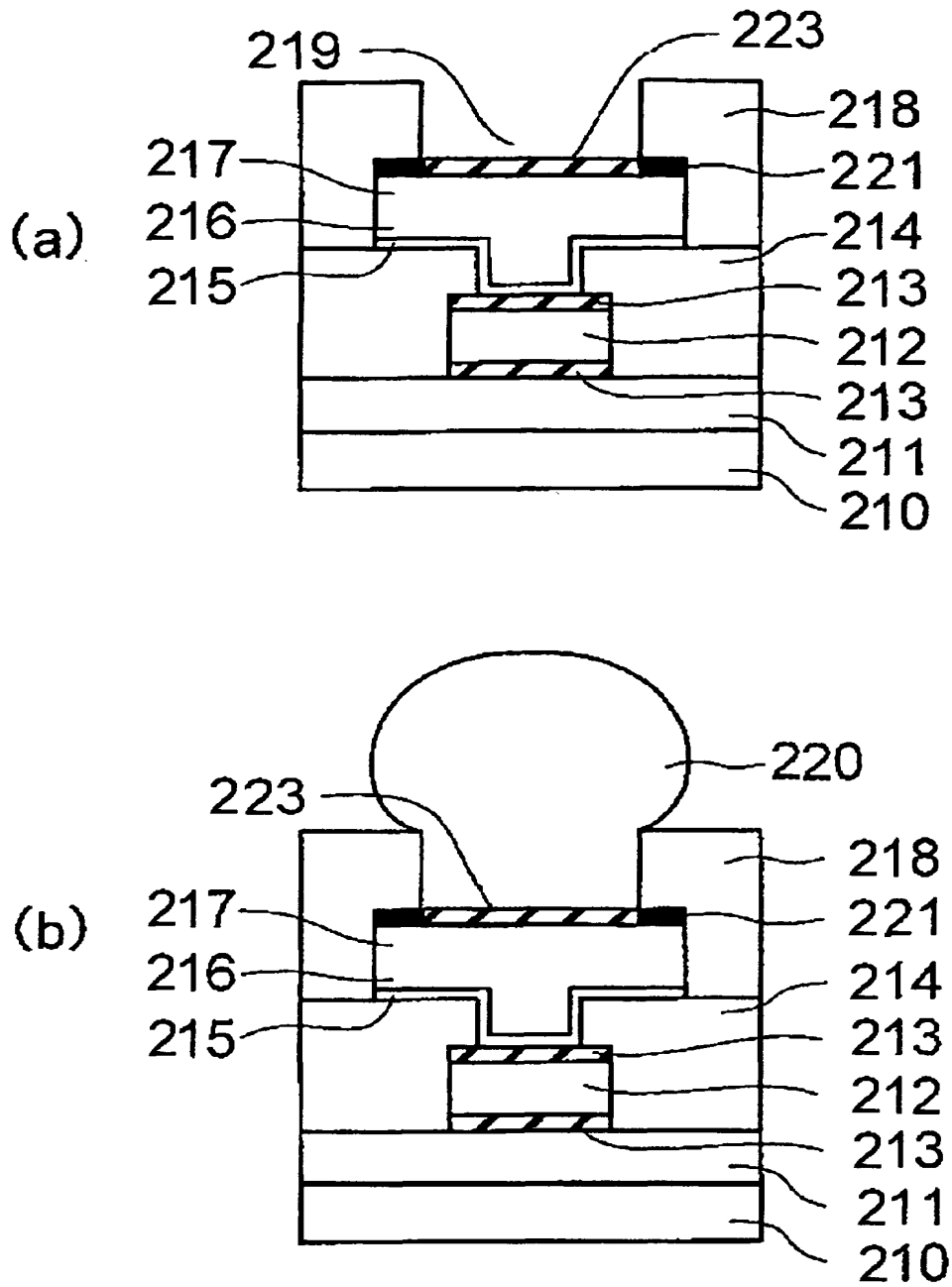
【図 11】



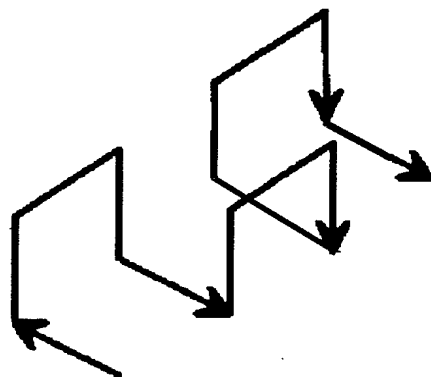
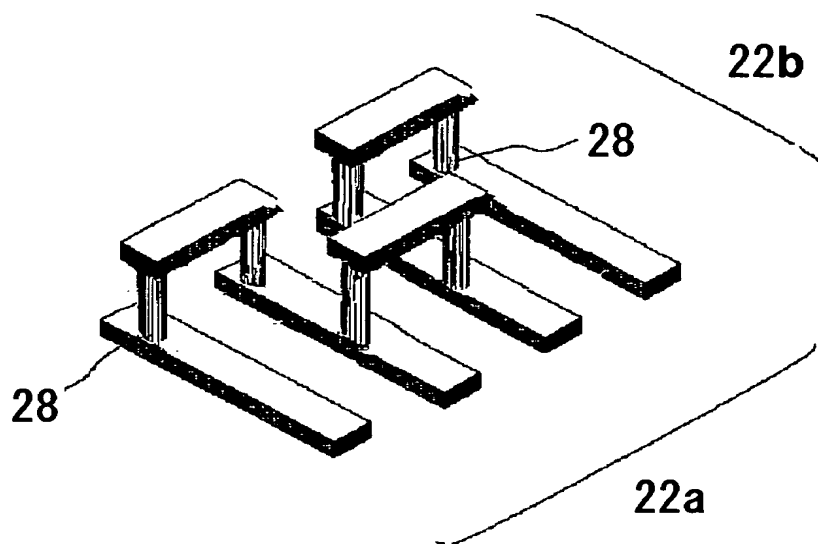
【図 1 2】



【図13】



【図 1 4】



電流経路

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 銅含有金属配線を含む半導体装置の歩留を向上させる。

【解決手段】 半導体基板上に形成された絶縁膜 1 2 および第一の H S Q 膜 1 4 a に配線溝を形成し、基板全面にタンタル系バリアメタル膜 2 4 a を形成する。その後、配線溝の一部を埋め込むように、シード銅含有金属膜 6 0 およびめっき銅膜 6 2 を形成する。次いで、めっき銅膜 6 2 上に、配線溝の他の部分を埋め込むようにバイアスパッタ銅含有金属膜 6 4 を形成し、熱処理を行う。これにより、バイアスパッタ銅含有金属膜 6 4 に含まれる異種金属がめっき銅膜 6 2 に均一に拡散する。

【選択図】 図 3

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）
【整理番号】 74112653
【提出日】 平成15年 1月17日
【あて先】 特許庁長官殿
【事件の表示】
 【出願番号】 特願2002-198432
【承継人】
 【識別番号】 302062931
 【氏名又は名称】 N E Cエレクトロニクス株式会社
【承継人代理人】
 【識別番号】 100110928
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 速水 進治
 【電話番号】 03-3461-3687
【提出物件の目録】
 【物件名】 承継人であることを証明する登記簿謄本 1
 【援用の表示】 特願 2 0 0 2 - 3 1 8 4 8 8 の出願人名義変更届に添付
 のものを援用する。
 【物件名】 承継人であることを証明する承継証明書 1
 【援用の表示】 特願 2 0 0 2 - 3 1 8 4 8 8 の出願人名義変更届に添付
 のものを援用する。
 【包括委任状番号】 0216935
【ブルーフの要否】 要

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名 日本電気株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [302062931]

1. 変更年月日 2002年11月 1日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地

氏 名 NECエレクトロニクス株式会社